

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності

152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

на тему: Розривна машина _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПІ-81мп
(шифр групи)

Моцьор Михайло Миколайович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Литвененко Павло Леонідович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Розробка стартап-проекту доцент, д. е. н. Бояринова К.О _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України

**«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Моцьору Михайлу Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розривна машина

науковий керівник магістерської дисертації Литвененко Павло Леонідович
К.Т.Н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 18 грудня 2019

3. Перелік завдань, які потрібно розробити Обґрунтування необхідності проектування на основі критичного огляду аналогів. Розробка системи захисту. Розрахунок основних характеристик тензодатчика. Аналіз точності тензодатчику. Розробка системи захисту тензодатчика. Проведення моделювання системи захисту. Розділ старт-а-п-проекту.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Складальне креслення розривної машини – 1 арк. ф. А1. Складальне креслення тензодатчика – 1 арк. ф. А1. Робочі кресленики деталей – 1.5 арк. ф. А1. Лист принципів

схем та графічних залежностей – 1.5 арк. ф. А1. Презентаційний аркуш – 1 арк.ф.А1. Матеріали аналітичного огляду – 1 арк.ф.А1. 3D модель розривної машини 1 арк.ф.А1.

5. Орієнтовний перелік публікацій

6. Консультант розділу дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розробка стартап-проекту</i>	<i>Бояринова К. О. д. е. н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 2 листопада 2019.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	17.10.2019	
2	Проведення аналітичного огляду матеріалів	24.10.2019 – 28.10.2019	
3	Розробка принципів схем	28.10.2019 – 5.11. 2019	
4	Розрахунок основних характеристик датчика ваги	5.11.2019 – 19.11.2019	
5	Проведення аналізу точності вимірювання	19.11.2019 - 21.11.2019	
6	Розробка стартап-проекту	21.11.2019 - 26.11.2019	
7	Оформлення текстової та графічної частини	26.11.2019 – 3.12.2019	
8	Представлення МД на перевірку науковому керівнику	3.12.2019 – 14.12.2019	
9	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів сервісом Unichек	14.12.2019 - 14.12.2019	
10	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	18.12.2019	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис) (ініціали, прізвище)

Реферат

Пояснювальна записка складається з: 102 сторінок, 23 рисунків, список використаних літературних джерел з 18 найменувань, 26 таблиць.

Метою даної магістерської роботи є розробка і конструювання розривної машини і її складових, збільшення точності вимірювання і швидкості роботи порівняно із базовою комплектацією машини.

В роботі проведений огляд аналогів Розривних машин і окремих компонентів. Проведено розрахунок тензорезистору та тензодатчику. Розраховані частотні характеристики тензодатчику та його електрична схема.

Розроблено захист від надмірних навантажень тензодатчика і пораховано його оптимальні характеристики.

Створено стартап проект для подальшого виробництва системи захисту для тензодатчика.

Abstract

The explanatory note consists of: 102 pages, 23 figures, a list of used literature sources of 18 titles, 26 tables.

The purpose of this master's thesis is to develop and design a breaking machine and its components, to increase the measurement accuracy and speed of operation compared to the basic machine.

In the work the review of analogues of the Breaking machines and individual components is carried out. Calculation of the strain gauge and strain gauge. The frequency characteristics of the load cell and its electrical circuit are calculated.

Overload protection of the load cell was developed and its optimal characteristics were calculated.

A startup project has been created to further produce a security system for the load cell.

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1

Зміст

Вступ	3
1 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	4
1.1 Критичний огляд аналогів	4
1.1.1 Типи розривних машин	4
1.1.2 Типи енкодерів	13
1.1.3. Типи тензодатчиків	23
1.2 Типи вагових терміналів.....	26
1.3 Опис конструкції розривної машини.....	28
1.4 Розрахунок тензодатчика	32
1.4.1 Математична модель тензодатчика	33
1.4.2 Розрахунок тензорезистору	37
1.4.3 Вибір і розрахунок пружного елемента	39
1.4.4 Динамічний режим тензорезисторного датчику	51
1.4.5 Розрахунок частотних характеристик.....	56
1.4.6 Розрахунок електричної схеми тензодатчика	58
1.4.7 Аналіз точності тензодатчика	66
1.4.8 Система захисту тензодатчика	68
2.РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “СИСТЕМА ЗАХИСТУ	
ТЕНЗОДАТЧИКА ”	74
2.1. Опис ідеї проекту.....	74
2.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	79
2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	79
2.4.Розроблення ринкової стратегії проекту.....	90
Загальний висновок.....	100
Перелік посилань	101

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Вступ

При вимірюванні ниток найважливішими показниками є розривне навантаження і розривне подовження яке може витримати нитка перед тим як втратити свою цілісність. В даній роботі спроектовано розривну машину для дослідження максимально точних характеристик ниток різноманітного призначення.

До складу розривної машини входить тензодатчик що вимірює максимальне навантаження і виводить це значення на ваговий термінал. Для визначення подовження застосований енкодер що через ваговий термінал передає значення до комп'ютера. Можливість зчитувати результати вимірювання безпосередньо із компютера дозволить зменшити можливість похибки зв'язаної з людським фактором. Також це пришвидшить обробку даних при масових вимірах і анулює потребу ручного введення результатів.

Оскільки тензодатчик і енкодер підбираються на навантаження до 30 Н що безпосередньо зв'язано із максимальним навантаженням самої розривної машини і відносно невеликим подовженням то система може використовуватись і визначення характеристик, ниток максимальні значення яких не будуть перевищувати верхніх меж вимірювання приладів.

Так як розривна машина може використовуватись не тільки для ниток то для забезпечення надійності конструкції також розроблена система захисту безпосередньо для тензодатчика, що дозволить зберегти його від механічного руйнування і подовжити термін експлуатації.

1 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 Критичний огляд аналогів

Для конструювання розривної машини необхідно підібрати вже існуючу розривну машину для її модернізації, принцип роботи та конструкція якої є придатним, для того, щоб розмістити на ній нашу систему. Необхідно визначитись із типом енкодера та тензодатчика що матимуть високу точність підрахунку необхідних величин. Також потрібно підібрати ваговий термінал і модуль для того щоб виодити виміряні значення до компютера.

1.1.1 Типи розривних машин

В даний час існує безліч варіантів виконання розривних машин, які різняться:

- за типом приводу: механічний привід або гідравлічний;
- по можливості автоматизації дослідження: управління за допомогою комп'ютера і спеціалізованого програмного забезпечення або з ручним керуванням ходу дослідження і обробкою результатів;
- по робочому зусиллю: від одиниць до сотень кілоньютон;
- за типом досліджуваного матеріалу: метали, пластмаси, дерево і інші;
- по можливості проведення досліджень в умовах, відмінних від нормальних: наявність нагрівальної або криогенної камери, в яку поміщається досліджуваний зразок.

Основною вимогою до розривних машин є можливість досить точно контролювати робоче зусилля, що додається випробуваному зразку, що безпосередньо впливає на точність самого дослідження. Ця вимога відрізняє

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

розривну машину від пресів загального призначення, які так само можуть виконувати функції розривної машини, але з дуже великою похибкою, що означає - повна недостовірність результатів дослідження.

Так як розривні машини відносяться до вимірювальних приладів, причому високої точності, вони повинні проходити метрологічний контроль (перевірку), не рідше одного разу на рік.

Розривні машини здатні працювати в автоматичному режимі. Такі машини здатні відтворювати циклічні навантаження на зразок, збирати і систематизувати результати випробування. Оператору слід лише завантажити зразок в установку і задати програму випробування, все інше машина зробить сама.

Не дивлячись на беззаперечні переваги автоматизованих машин, для деяких виробництв, стримуючим фактором до покупки може служити ціна. Автоматизована машина може коштувати на порядок дорожче звичайної машини, результати якої необхідно оператору фіксувати самостійно.

Машини для випробування на розтягування і стиснення діляться на прості і універсальні. Прості машини дозволяють прикладати до зразка навантаження тільки одного знаку (розтягнення або стиснення). Універсальні машини, в свою чергу діляться на знакопостійні, що дозволяють, за допомогою переналагодження, проводити випробування і на розтягнення і на стиск, і знакозмінні, що дають можливість без переналагодження в процесі випробувань міняти знак навантаження.

У силовій схемі однозонної розривної або універсальної статичної машини з механічним навантажуючим пристроєм (рис. 1) стійки машини стиснуті при розтягуванні зразка і розтягнуті при його стисненні.

Тонкою лінією показано замикання силового контуру через елементи машини. Така силова схема використана в розривних машинах МР-5 і універсальних машинах УМ-5, розрахованих на граничне навантаження 50 кН.

В універсальних двозонних машинах (рис.2) станина, стійки і верхня траверса утворюють жорстку раму. У станині розташований привід, з'єднаний з навантажуючими гвинтами, гайки які закріплені в рухомий траверсі. У верхній траверсі встановлений датчик сили, що несе верхнє захоплення для

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

випробуваного зразка. Нижнє (активне) захоплення нерухомо закріплене на рухомий траверсі. Таким чином, верхня зона (над рухомою траверсою) - для випробування на стиснення. Силкові потоки в елементах машини показані тонкими лініями зі стрілками.

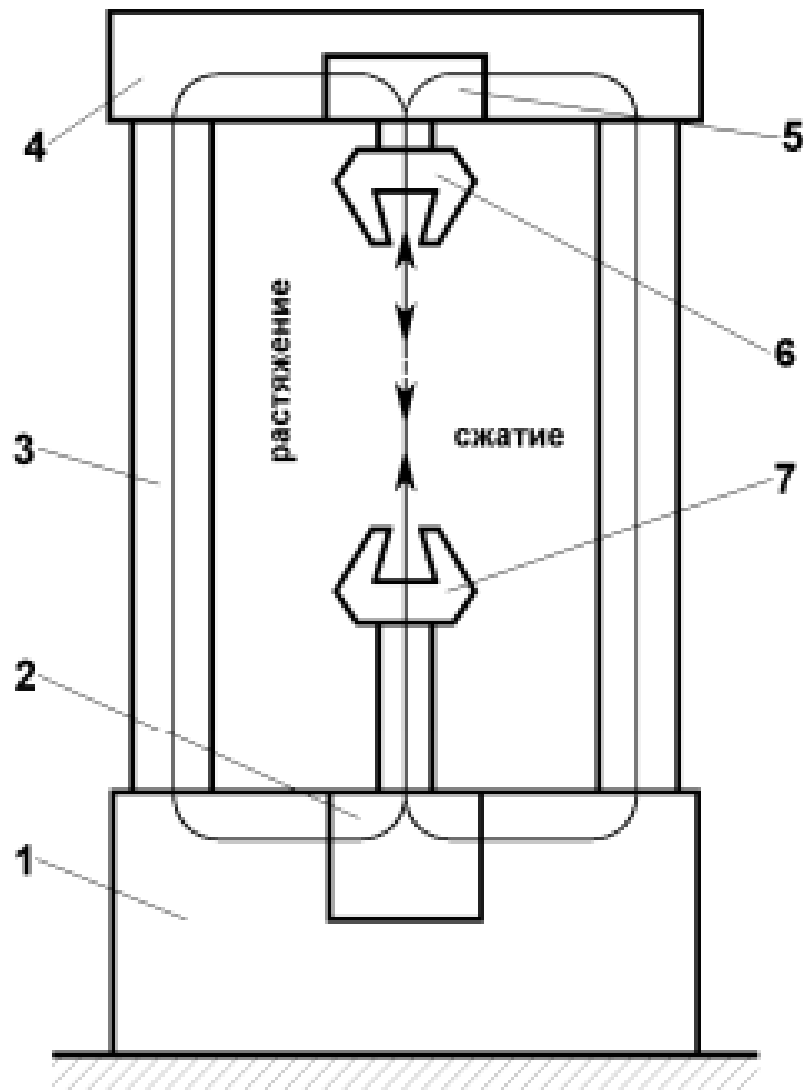


Рисунок 1 - Однозонна машина:

1 - підстава; 2 - опора силового гвинта; 3 - стійки;
4 – верхня траверса; 5 - опора верхнього захоплення; 6, 7 - верхнє і нижнє захоплення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

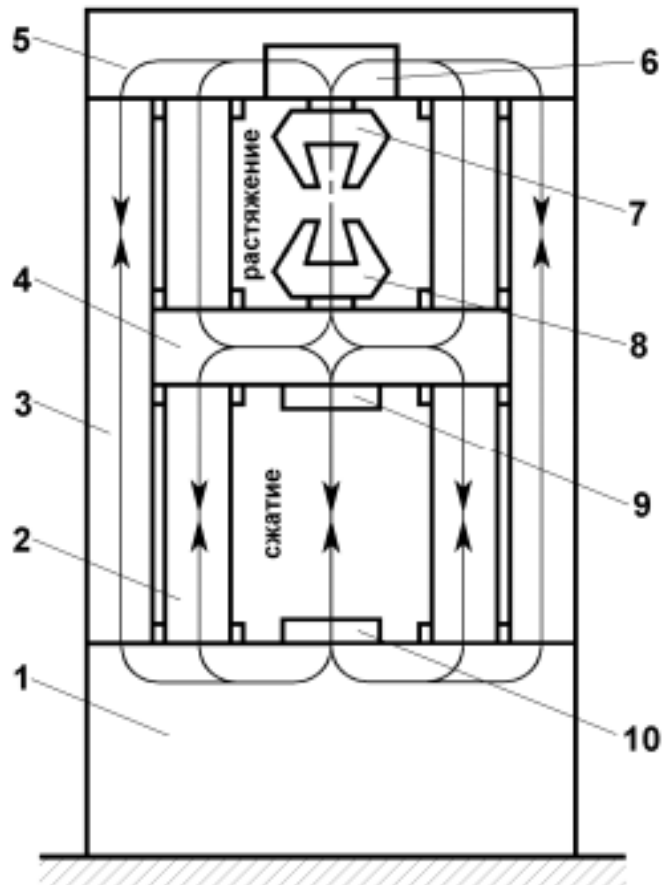


Рисунок 2 - Двохзонна машина:

1 - підстава; 2 - силові гвинти; 3 - стійки; 4 – рухома траверса; 5 - верхня траверса; 6 - опора верхнього захоплення; 7, 8 - верхнє і нижнє захоплення; 9, 10 - опори для стиснення.

При випробуваннях на стиск датчик сили розміщений або в станині, або в рухомий траверсі.[1]

При випробуваннях на розтягнення силовий ланцюг замикається через стійки 3 рами машини і через навантажуючі гвинти 2, а при випробуваннях на стиск - тільки через навантажуючі гвинти. Таким чином, при випробуваннях будь-яких видів стійки завжди стиснуті, а навантажують гвинти розтягнуті. Таку силову схему застосовують і в машинах для повторно-статичного навантаження.

Перевага такої схеми полягає в жорсткості конструкції, підвищує точність реєстрації перехідних процесів, наприклад, при виникненні плинності матеріалу. Дана схема застосована в випробувальних машинах 1958АК, 1253-4-2-2, в

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

машинах серії 1400 фірми Swick (Німеччина), що забезпечують випробування при навантаженнях від 5 до 100 кН.

Розривні машини з гідравлічним приводом - це, як правило, універсальні машини, придатні для випробувань при тривалому, статичному, циклічному і динамічному додатку навантажень.

Гідравлічний привід використовується в машинах великої потужності, розрахованих на навантаження 49 кН - 9,8 мН і вище. Машини з механічним приводом зазвичай мають відносно невелику потужність - вони, як правило, розраховані на руйнівне зусилля не більше 49 кН – 98 кН тон.[1]

На машинах з гідроприводом важче підтримувати задану швидкість деформування зразка, ніж при використанні механічного приводу. (Швидкість деформації і швидкість деформування.

Швидкість деформування характеризує зміну довжини зразка в одиницю часу, зазвичай використовується розмірність мм / хв або мм / сек.

Швидкість деформації - зміна відносного подовження в відсотках або частках від розрахункової довжини в одиницю часу.

У міру збільшення опору матеріалу зразка деформування зростає тиск масла в робочому циліндрі. При цьому посилюється просочування рідини через зазор між циліндром і поршнем і швидкість деформування зменшується. Для її підтримки на постійному рівні необхідно збільшити подачу рідини в циліндр пропорційно її витoku. Цей недолік машин з гідроприводом досить великий, коли механічні властивості випробувального матеріалу помітно залежать від швидкості деформації, наприклад при підвищених температурах.

Гідравлічні машини частіше використовують на заводах для випробувань великих зразків, в той час як для дослідницьких робіт більше придатні машини з механічним приводом.

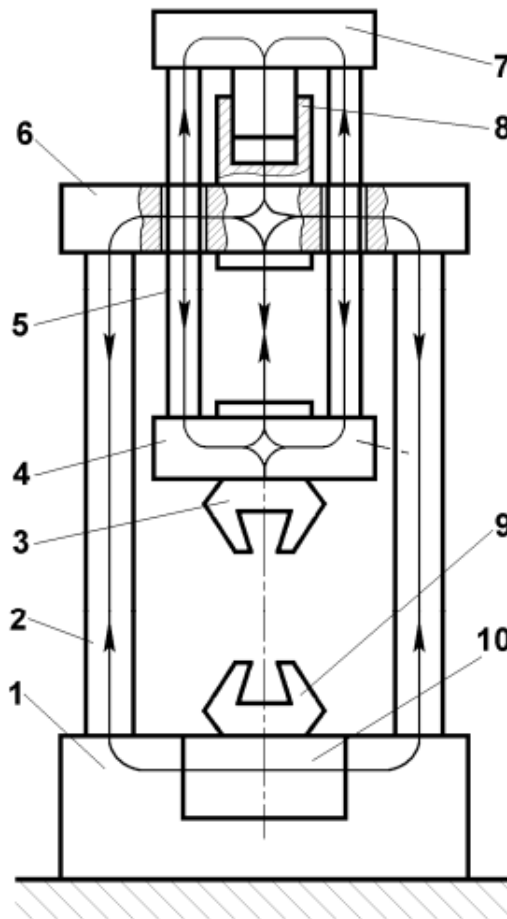


Рисунок 3 - Схема універсальної одноходової машини з гідравлічним навантаженням:

1 - станина; 2 - колони; 3, 9 - верхнє і нижнє захоплення для випробувань на розтяг - стиск; 4, 7 - нижня і верхня траверси реверсора; 5 - колони реверсора; 6 - верхня траверса; 8 - навантажувальний циліндр; 10 - механічний привід.

На рис.3 наведена силова схема одноходової машини. При випробуваннях на розтягнення колони 2 стиснуті, а колони 5 розтягнуті. Передача зусиль по елементах конструкції показана стрілками. з цієї схемою, наприклад, побудовані машини виробництва УММ-50, універсальна машина з гідропульсатором односторонньої дії МУП100 і інші.[1]

Одноходові машини забезпечені циліндром простої дії з односторонньою робочою порожниною, внаслідок чого навантаження створюється лише в одному напрямку. З метою універсалізації такі машини постачають механічним реверсом у вигляді додаткової рами, що вставляється всередину основний рами машини.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Розривна машина Р-0,5 має в конструкції електромеханічний привод і використовується для статичних випробувань на розтяг різних типів матеріалів (гуми, зразків металів і сплавів пластмас) [1].

Характеристики розривної машини Р-0,5 такі:

- тип силовимірювача – маятниковий;
- максимальне навантаження, кН: 4,9;
- припустима похибка вимірювання нагрзуки від вимірюваної величини в межах робочої частини шкали + 1%;
- розбіжність показань від значення вимірюваного навантаження, не більше 1%;
- різниця між значеннями показань прямого і зворотнього ходу в кожній точці, що, не більше 2%;
- максимальне значення шкали деформації 200 мм;
- по шкалі навантаження одному міліметру запису дорівнює 1/250 частина граничного поясу шкали;
- значення швидкості робочого ходу активного захоплення складає від 1 до 100 мм / хв;
- з) значення швидкості ходу активного захоплення, становить не менше 200 мм / хв. [1].

Оскільки нам необхідна величина максимального навантаження не більше 30Н то використовувати машину де цей показник становить 4,9 кН не є доцільно.

Машина розривна МР-Т призначена для знаходження значень деформаційних зразків картону, целюлози, паперу та інших видів матеріалів [2].

Блок керування машини має наступні можливості:

- керування машиною можливе в ручному режимі за допомогою клавіатури, так з допомогою ПК завдяки наявності вузьконаправленого програмного забезпечення;
- показувати на дисплей значень зусилля необхідного для розтягування і деформації матеріалу;
- запам'ятовування до 100 режимів випробувань;
- проведення автоматичної установки відстані між зажимами;

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- вивід результатів дослідження на ПК.

Технічні характеристики МР-Т такі:

- граничне навантаження, в залежності від того який датчик сили встановлений від 4,9 Н до 2 кН;
- границі допустимої похибки вимірювання навантаження знаходяться в діапазоні від 2% до 100% ;
- межі вимірювання абсолютного подовження становлять від 20 до 270 мм;
- діапазон абсолютної похибки значення при вимірюванні абсолютного подовження зразку, не більше $\pm 0,1$ мм;
- значення швидкості переміщення активного захоплення становить від 1 до 250 мм / хв;
- значення відхилення швидкості від обраного значення, не більше 1,0%;

Програмне забезпечення розривної машини дозволяє вести базу даних всіх випробувань, відображати всі значення результатів випробування в графічному і табличному вигляді, об'єднувати результати в повний звіт про проведене випробування. Розривна машина може бути використана для випробування міцності багатьох матеріалів, якщо вимоги стандартів до випробувального зразку відповідають технічним характеристикам розривної машини [2].

Ця машина має доволі якісні показники проте максимальне її похибка є зовеликою для наших потреб.

Машина розривна РМ-30-1 використовується для визначення значень розривного навантаження і подовження при випробуванні на ній текстильних ниток. Машина створена для роботи в приміщенні з штучно регульованими кліматичними умовами, що необхідні для ниток, при температурі від +10 до + 35 ° С [3].

Технічні характеристики машини:

- граничне випробувальне навантаження 30 Н.
- діапазони розривної машини для вимірювання навантаження:
 - діапазон I від 1 до 5 Н;
 - діапазон II від 2 до 10 Н;
 - діапазон III від 6 до 30 Н.

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- ціна поділки шкали силовимірювача:
 - діапазон I 0,2 Н;
 - діапазон II 0,05 Н;
 - діапазон III 0,1 Н;
- межа допустимого значення відносної похибки силовимірювача $\pm 1\%$;
- зміщення показника маятника при закріпленні собачками не більше 2 мм;
- границі вимірювання деформації (зміна відстані між захопленнями) від 0 до 300 мм;
- границі допустимої цифри похибки вимірювача деформації - 1 мм;
- границі задатчика швидкостей руху активного захватустановлять від 80 до 800мм/хв;
- значення швидкості зворотного ходу активного захоплення становить не менше 760 мм / хв; и) а ціна поділки задатчика швидкості пересування активного захоплення 10 мм / хв;
- значення відхилення швидкості руху активного захоплення від встановленого значення при робочому ході без прикладеного навантаження не має перевищувати + 5%;
- показник відстані між захватами (початкова) можна регулювати з інтервалом через 50 мм у діапазоні значень від 0 до 500 мм;
- значення робочого хіду активного захвату не менше 350 мм;
- потужність, яку використовує машина, не більше 0,200 кВт;
- габаритні розміри розривної машини: довжина 500 мм ширина 800 мм висота 2430 мм;
- м) маса машини становить не більше 106 кг [3].

Розривна машина РМ-30-1 найкраще нам підходить оскільки вона спеціально була створена для дослідження ниток і на ній уже є своя система визначення необхідних характеристик випробувального зразку нитки що дасть нам можливість не міняти саму конструкцію машини а зберегти її працездатність внедривши до конструкції нашу систему що дозволить зчитувати значення більш точно і якщо виникне потреба порівнювати результати обох систем.

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.1.2 Типи енкодерів

Для підрахунку значення подовження нитки використовуємо датчик повороту, що дозволить отримувати високоточні результати дослідження

Енкодери - це датчики повороту. Найбільш простий датчик має ручку, яка може повертатися проти годинникової стрілки або за нею. В залежності від кута повороту і напрямки створюється цифровий сигнал, що інформує про те, в якому стані знаходиться ручка, або значення в який бік вона була повернута.

Якщо коротко енкодери можна найменувати перетворювачами кутових переміщень. Вони використовуються для модифікації кута повороту предмету обертання, наприклад, колеса будь-якого механізму, в значення сигналу електричного струму. Одночасно визначається не тільки кут повороту колеса, але і напрямок його обертання і швидкість обертання, а також поточна позиція щодо стартового положення.[16]

Велику популярність енкодери здобули при їх використанні в системах дуже точного переміщення, на різних верстатобудівних заводах, у виробничих комплексах в яких застосовується робототехніка, у вимірювальних приладах де необхідна точна реєстрація вимірювань нахилів, обертань ,поворотів і кутів.

За типом даних які видаютьх енкодери є дві великі групи:

- абсолютні;
- інкрементальні.

Інкрементальні енкодери створені для знаходження кута повороту обертаних об'єктів. Вони створюють послідовний імпульсний цифровий код, в якому міститься інформацію на рахунок кута повороту об'єкта. Якщо вал зупиняється, то передача імпульсів теж зупиняється. Головним робочим параметром інкрементального датчика є значення кількості імпульсів за один оборот. Точну величину кута повороту об'єкта знаходять при допомозі підрахунку імпульсів від старту.[16] Для розрахунку кутової швидкості об'єкта

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

процесор в тахометрі проводить диференціювання точної кількості імпульсів у часі, отже показуючи одразу значення величини швидкості, тобто кількість оборотів за хвилину. Вихідне значення сигналу має два канали, в яких однакові послідовності імпульсів зміщені на 90° відносно одне одного, що дає можливість знаходити напрямок обертання. Також присутній цифровий вихід нульової мітки, що дає можливість завжди визначати абсолютне положення валу.

Абсолютні енкодери, як магнітні, так і оптичні мають своїм основним робочим показником число кроків, тобто значення унікальних кодів на оборот і їх кількість, при цьому не потрібно проводити первинну установку і ініціалізацію датчика. Саме через це абсолютні енкодери не втрачають значення своєї позиції при зникненні напруги.[16]

Серед поширених типи виходів сигналу є: CANopen, DeviceNet; Грея; інтерфейси Profibus-DP; CANopen; DeviceNet; LWL SSI з допомогою яких також здійснюють програмування енкодерів.[4]

Абсолютний енкодер відносять до такого типу енкодерів, який робить унікальний код для кожної позиції колеса. На відміну щодо інкрементного енкодера, лічильник імпульсів тут не потрібен, тому що, значення кута повороту завжди відоме. Абсолютний енкодер групує сигнал як, в режимі спокою так і під час обертання. Диск значень абсолютного енкодера рис.4 відрізняється від диска інкрементального енкодера, так як має декілька концентричних доріжок. На кожній доріжці створюється унікальний двійковий код для кожної позиції вала.

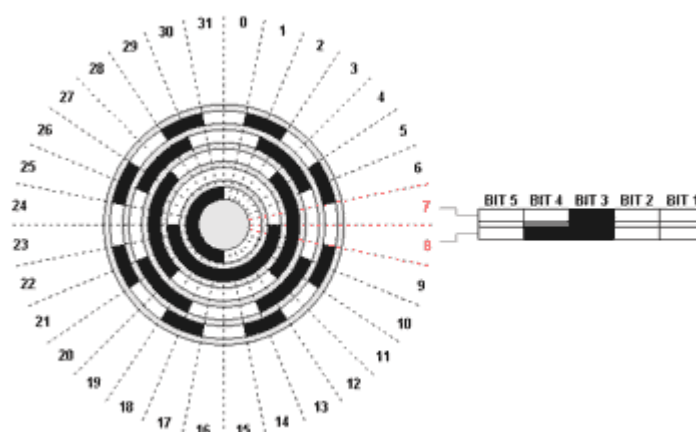


Рисунок 4 - Кодовий диск абсолютного енкодера [16]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

При роботі абсолютний енкодер не несе втрати значення при нестачі джерела живлення і не потребує повернення в початкову позицію для продовження роботи. Значення сигналу абсолютного енкодера не піддається на різні перешкоди і йому не потрібна надвисока точна установка колеса. Крім того, навіть якщо з якихось невідомих причин кодований сигнал не може бути миттєво прочитаний енкодером якщо, наприклад, оберти колеса занадто швидкі, то вірний кут обертання буде зареєстрований, коли значення швидкість обертання зменшиться до того яке здатен зареєструвати датчик. Технологія виготовлення абсолютних енкодерів робить їх стійкими до вібрацій.

Двійковий код (ДК) – це глобально поширений код, який може бути обробленим мікропроцесором і є основним кодом який використовується для обробки цифрових сигналів. ДК складається тільки з 1 і 0. [16]

Побудова ДК проводиться за таким принципом:

$$1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$$

Так виглядає число 10 в двійковому коді.

Найбільше число, яке може бути записано двійковим кодом, залежить від кількості застосованих розрядів, а саме від кількості бітів в комбінації, що складає число табл.1.1. Наприклад, для написання чисел 0 до 7 потрібно мати 3-розрядний або 3-бітовий код:

Таблиця 1.1 - Двійковий код

числове значення	Двійковий код
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100

Продовження табл.1.1

числове значення	Двійковий код
5	101
6	110
7	111

З наведеної таблиці видно, що для чисел більших за сім при трьохрозрядному коді вже немає потрібних кодових комбінацій з 0 і 1. При переході від значення числа до його фізичної величини можна сформулювати вищенаведене твердження в більш обширному вигляді: більш велика кількість значень m різної величини (кута повороту, струму, напруги і ін.), яке може бути виведеним в форматі двійкового коду, залежить від усіх чисел кожного використовуваного розряду n в якості $m = 2^n$. Якщо $n = 3$, то отримаємо вісім значень, до якого включаємо провідний 0.[4]

ДК є багатокроковим кодом. Це значить, що при переході з одного значення (положення) в інше може бути зміненою різна кількість біт одночасно. Наприклад, число 3 в ДК має форму запису 011. Число ж 4 в двійковому коді записується як 100. Отже, при переході від 3 до 4 змінюють свої значення на протилежне всі 3 біта разом. Читання такого типу коду з кодового диска викликало б те, що через невідворотність похибок при виготовленні кодового диска зміна даних вимірювання від кожної окремої доріжки ніколи не відбудеться одночасно. Це викликало б ситуацію, що при переході від одного числа до іншого короткочасна видана інформація буде невірною.[16]

Так при вищеописаному переході від числа 3 до числа 4 ймовірна короткочасна видача числа 7 з дуже великим шансом, коли, наприклад, молодший біт під час переходу змінив своє значення раніше ніж інші. Таким чином, застосування звичайного ДК може викликати великі похибки при вимірюванні, оскільки дві сусідні кодові комбінації значень (чисел) можуть

відрізнятися одине від одного не тільки в одному, а в багатьох розрядах. Щоб уникнути цієї похибки застосовується однокроковий код, наприклад, так званий Грей-код.

Код Грея набагато краще від звичайного ДК тим, що має можливість безперервності бінарної комбінації: зміна кожного кодованого числа на одиницю відповідає значенню зміни кодової комбінації виключно в одному розряді. Він побудований за таким правилом: кожен старший розряд залишається без зміни; коли кожний наступний розряд перетворюється, коли попередній розряд вихідного двійкового коду має значення одиниці. Даний алгоритм побудови може бути представлений як результат додавання по модулю двох вихідних комбінацій двійкового коду з ідентичною комбінацією, але зміщену на один розряд вправо. При цьому граничний правий розряд з зміщеної комбінації відкидається.[16]

Отже, Грей-код є так званим однокроковим кодом, адже при переході від одного числа до наступного змінюється лише якийсь один біт завжди. Значення похибки при отриманні інформації з довільного механічного кодового диска при зміні від одного числа до іншого викличе лише те, що зміна від одного положення до іншого буде трохи зміщений за часом що не є проблемою, проте можливість видачі повністю невірної значення кутового положення при зміні від одного положення до іншого абсолютно є неможливою.

Беззаперечною перевагою Грей-коду є його здатність відзеркалювати інформацію. Так, змінюючи старший біт можна легко змінювати напрямок рахунку і, таким чином, підбирати до фізичного (фактичного) напрямку обертання осі. Зміну напрямлення рахунку може легко редагувати, керуючись входом "Complement". Результат що показується може бути зростаючим або зменшуючимся при одному ідентичному фізичному напрямку обертання його осі.

Через те, що інформація, наведена в Грей-коді, має чисто кодований характер що не несе реальної числової інформації, то він має перед подальшою обробкою спершу бути конвертований в звичайний бінарний код. Це проводиться при допомозі перетворювача коду (декодера Грей-Бінар), який

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

легко втілюється при допомозі ланцюга з логічних складових «вимикає або» (XOR) як апаратним, так і програмним способом.[5]

З табл.1.2 можна зрозуміти, що при зміні від одного числа до наступного (сусіднього) виключно один біт значення змінює свій стан, якщо число було наведено кодом Грея, в той час, як в ДК можуть змінити свій стан деуілька біт разом. Код Грея - вихід, тому він ніколи не має похибок чи помилок читання і використовується в багатьох абсолютних енкодер.

Таблиця 1.2 – Розрахунок Коду Грея

Десятичний код	Двійковий код				Код Грея
	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	
0	0	0	0	0	0 0 0 0
1	0	0	0	1	0 0 0 1
2	0	0	1	0	0 0 1 1
3	0	0	1	1	0 0 1 0
4	0	1	0	0	0 1 1 0
5	0	1	0	1	0 1 1 1
6	0	1	1	0	0 1 0 1
7	0	1	1	1	0 1 0 0
8	1	0	0	0	1 1 0 0
9	1	0	0	1	1 1 0 1
10	1	0	1	0	1 1 1 1
11	1	0	1	1	1 1 1 0
12	1	1	0	0	1 0 1 0
13	1	1	0	1	1 0 1 1
14	1	1	1	0	1 0 0 1
15	1	1	1	1	1 0 0 0

Кожен біт змінює свій стан, при зміні від одного числа до наступного.

Для перетворення Коду Грей в Двійковий код використовується схема рис.5.[16]

Система для вимірювання абсолютного енкодера складається з кодового диска, встановленого на вісь, поворотної осі, що прикріплена на двох

високопрецизійних підшипниках, а також оптико-електронної зчитувальної матриці і схеми обробки сигналу. [4]

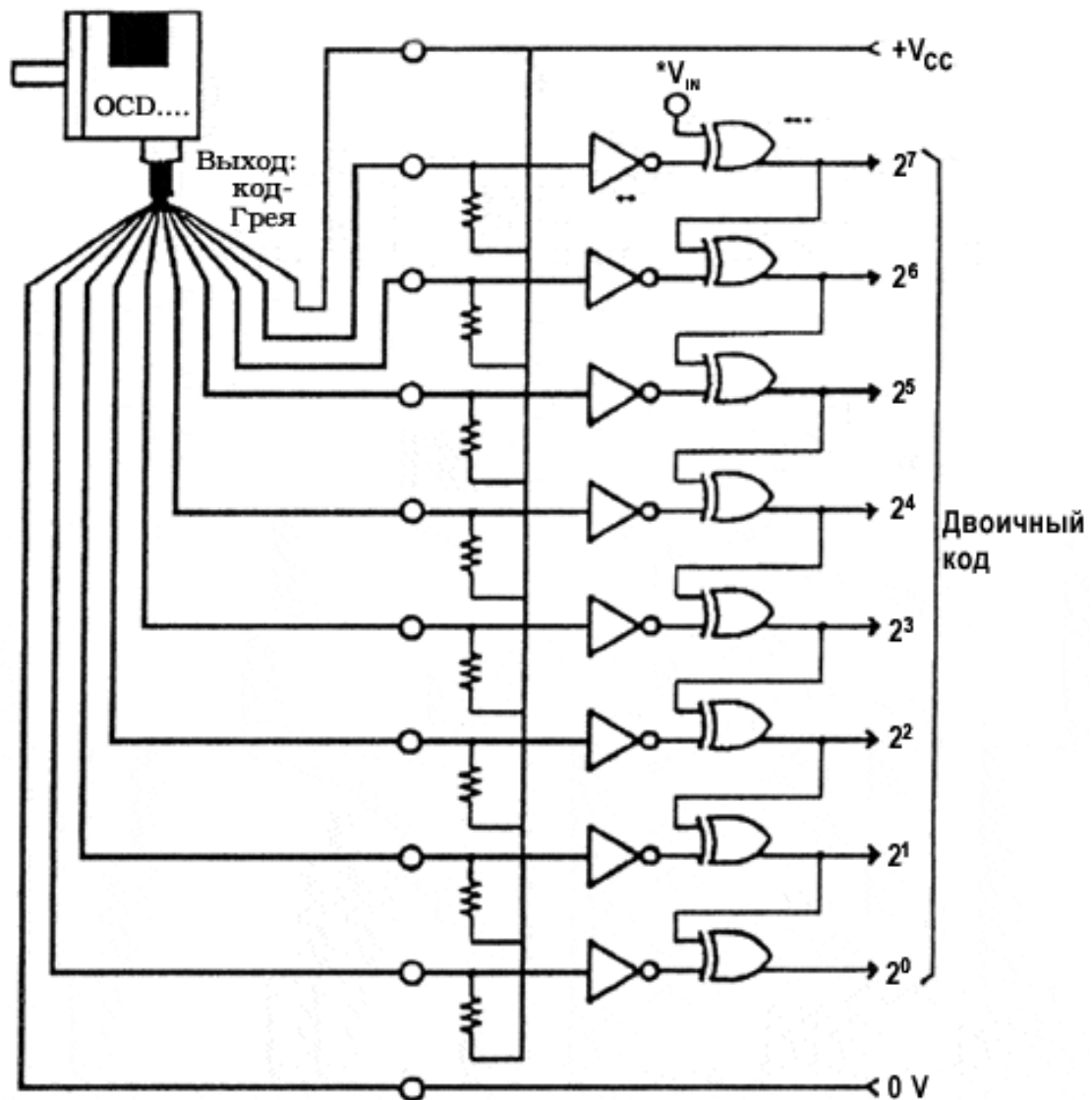


Рисунок 5 - Схема для перетворення Коду Грея в двійковий код

Джерелом світла використано світлодіод, інфрачервоні промені якого світять на кодовий диск і попадають на його фототранзисторну матрицю, що зазвичай розташовується на зворотньому боці кодового диска.

При всіх кроках кутове розміщення кодового диска чорні ділянки коду запобігають потраплянню світла на різні фототранзистори фототранзисторної матриці. Отже чорні - світлі ділянки кожної з смуг будуть відображені на

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

фототранзисторній матриці і конвертовані в електричні сигнали. Зміни насиченості джерела світлового потоку записуються за допомогою спеціального додаткового сенсора і компенсуються при допомозі електронної схеми.[16]

Однооборотними (Single - Turn) енкодерами називаються датчики, що показують абсолютне значення на границі одного обороту рис.6, тобто в радіусі кола 360° . Після одного закінченого обороту датчика код є повністю пройдений і починається знову з його початкової точки. Ці датчики служать, в основному, для визначення кута повороту і використовуються, наприклад, в ексцентричних колінчастих пресах, антенних системах і т.д.

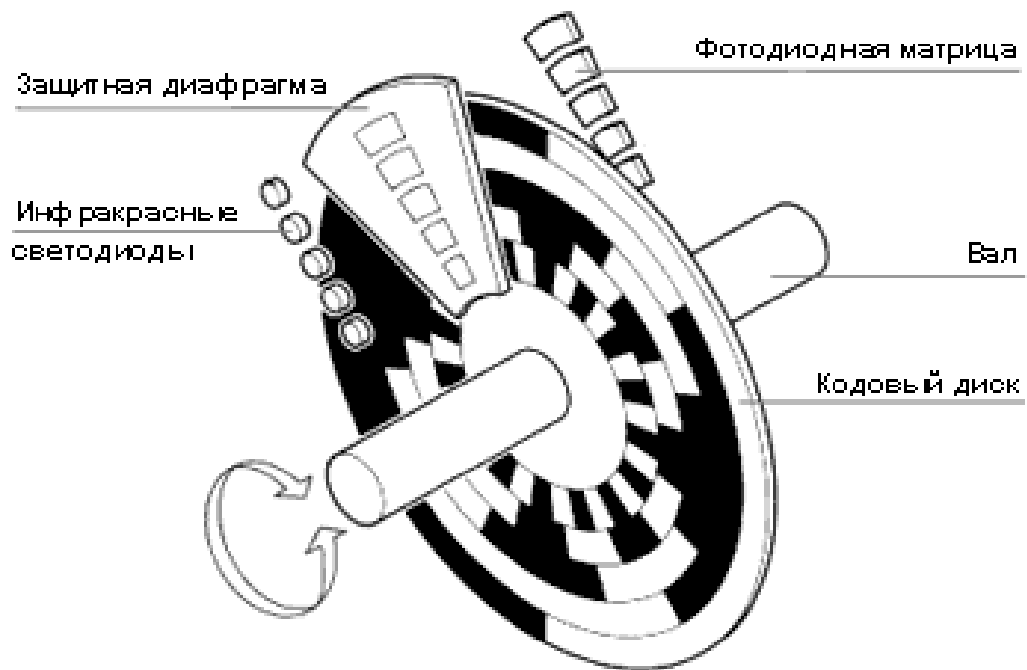


Рисунок 6 - Пристрій однооборотного енкодера

Лінійні переміщення припускають необхідність застосування вимірювальної системи з n-кількістю повних обертів. [17]

Наприклад, в лінійних приводах або при задачах знаходження за допомогою зубчастої вимірювальної штанги, використання однооборотних датчиків є недопустимим. В таких випадках приходять на допомогу датчики, де до вимірювання кута повороту в межах одного обороту також додатково відбувається реєстрація кількості повних обертів при допомозі спеціально

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

вбудованого передточного механізму, а саме редуктора з декількох кодових оптичних дисків, що таким чином утворюють багатооборотний енкодер рис.7.

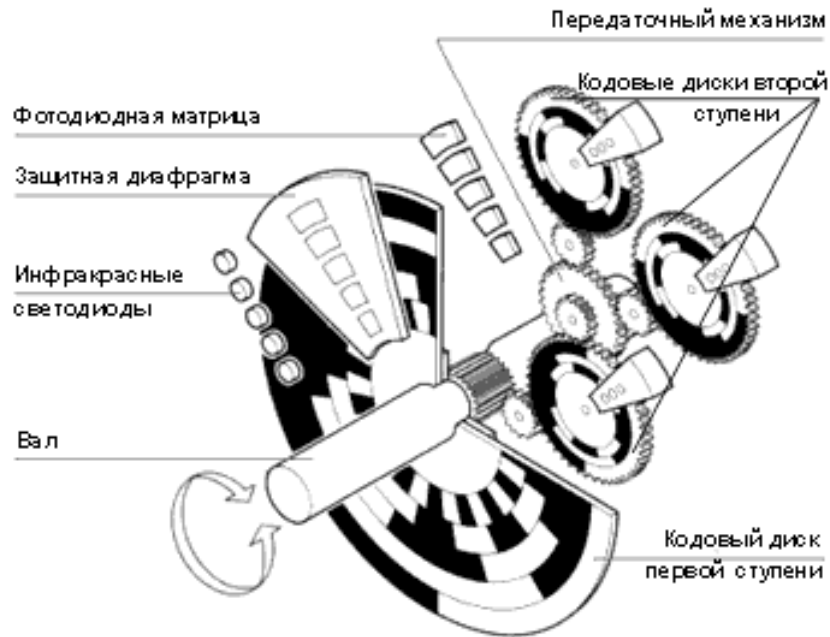


Рисунок 7 - Пристрій багатооборотного енкодера

Даний перетворювач створений у вигляді диска, що фіксується на валу, і виготовлений із спеціального скла. Оптичний датчик повороту має додатковий оптичний растор, що відрізняє його від інших видів енкодерів, що переміщуються при повороті вала. При цьому він переводить значення моменту обертання в світловий потік, який далі фіксує фотодатчик.[5]

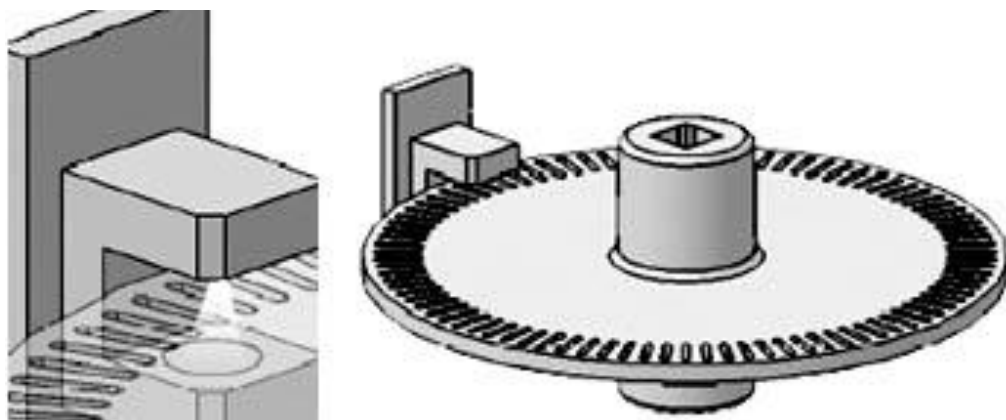


Рисунок 8 - Диск оптичного енкодера

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Оптичний перетворювач рис.8 зберігає пройдені кути обертання. До того ж кожному окремому його стану відповідає унікальний цифровий код, який разом з кількістю числа обертів створює одиницю виміру датчика. Оптичний енкодер має такий ж принцип роботи і схему підключення як і інкриментальний датчик.

За принципом роботи вони розділяються на фотоелектричні і магнітні. На ефекті Холла заключається принцип роботи магнітних датчиків, який був відкритий і доведений в 1879 році. При цьому різниця потенціалів виникає виключно при розміщенні дроту постійного струму в магнітному середовищі поля.[17]

За властивостями дозволу і значенням точності магнітний вид датчика трохи поступається фотоелектричному, проте через конструкцію він леглий, потребує менше уваги до умов роботи і простору необхідного для його розміщення.

Фотоелектричний енкодер розроблений як датчик, що працює на основі фотоелектричного принципу. Ефект фотоелектрики спостерігається при впливі світлового потоку на деякі речовини. Цей принцип був відкритий і продемонстрований світовій громаді в 1887 році. При тривалому використанні такого датчика відбувається беззупинне перетворення світлового потоку в сигнал електричного струму.

Магнітний енкодер фіксує кожне значення проходження магнітного полюса магніту при обертанні, який розміщено біля чутливого елемента. Інформація що передається від датчика виражається в цифровому коді.[17]

Для установки в розривну машину було обрано інкрементальний датчик кута MO140, його характеристики мають наступний вигляд:

- границі роздільної здатності від 10 до 3600 PPR;
- характеристика частоти складає 180 кГц;
- струм живлення 60mA;
- максимальний момент інерції $40\text{г}\cdot\text{см}^2$;
- гранично допустима швидкість обертання 5000 об / хв;

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

В якості вагового модуля для енкодера застосована модель I-7083 її характеристики такі:

- гранична робоча швидкість COM-портів RS-485: 115200 Біт / с;
- кількість каналів вимірювання імпульсів /частоти: 3;
- межа напругу логічної ланки 1, з ізоляцією: 3.5 ... 5 В;
- межа напруги логічної ланки 0, з ізоляцією: 0 ... 2 В;
- границі температури для експлуатації: -25 ... 75 ° С;
- значення розрядності лічильника: 32 Біт;
- гранична частота роботи частота: 1 МГц;
- значення напруги живлення на виході DC: 10 ... 30 В;
- значення потужність: 1.5 Вт.[5]

1.1.3. Типи тензодатчиків

Для підрахунку значення розривного навантаження нитки використовуємо тензодатчик що дозволить отримувати високоточні результати дослідження.

У різних галузях промисловості використовується безліч видів тензометричних датчиків:

1. Прилади, що вимірюють силу і навантаження;
2. Контроль тиску;
3. Вимірювачі прискорення;
4. Вимірювачі переміщення;
5. Датчики контролю моменту навантаження для моторів автомобілів, верстатів.

Тензодатчики мають різноманітні моделі, але найчастіше використовується датчик визначення ваги, який створюють в різних варіантах: бочковий, шайбовий, S-подібний. Відштовхуючись від призначення підбирається необхідний варіант форми.

Консольні датчики мають форму консольної балки, перетворюючи механічну деформацію зсуву. Консольний тип датчиків використовують в

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

більшості випадків для підлогових ваг із загальним навантаженням до 7 тон.

S-подібний датчик перетворює в електричний сигнал механічну силу стиснення або розтягування [11]. Такі датчики використовують в якості чутливого елемента в підвісних бункерних, кранових вагах.

Циліндричні датчики створені для використання в багатотонних вагах: вагонних, автомобільних, бункерних. Також ці датчики використовуються для модернізації механічних ваг.

Тензодатчики на розтяг конвертують силу розтягу в електричний сигнал. Дані датчики сконструйовані [10] для роботи у важких умовах.

Датчики розподіляються за класифікацією, як за формою, так і за особливостями конструкції для кожного типу, яка залежить від виду чутливого елемента що застосовується в тензодатчику.

На даний час є такі види датчиків:

1. З фольги;
2. Плівкові;
3. З дроту. [10]

Датчик що виготовлений фольги застосовується в якості наклеювання на поверхню пружного елемента. Конструкція датчика складається з фольгової стрічки товщина якої становить 12мкм. Частково плівка щільна, інша частина ґратчаста. Перевагою конструкції є те, що до неї можна припаяти допоміжні контакти в випадку несправності. Такі датчики мають хороші результати при використовуються в низьких температурах середовища.

Плівкові датчики (рис.9) виготовляються по тій же системі що і фольгові але матеріал в них закладається інший. Такі види датчиків виробляються з спеціальних тензочутливих плівок, властивості яких включають спеціальне наплення, що підвищує чутливість датчика до при його використанні. Ці чутливі елементи зручно застосовувати для контролю різного динамічного навантаження. Плівки виготовляються з германію, вісмуту, титану і інших матеріалів..



Рисунок 9 - Плівковий датчик

Дротяний варіант датчика рис.10 надзвичайно чутливий і має широкий спектр при якому може виміряти точну навантаження від тон до сотих частин грама. Чутливі елементи називаються одноточкові, оскільки вимір відбувається в одній точці, а не на площі, на відміну від датчиків з плівки і фольги. За допомогою дротяних датчиків можна контролювати значення деформації розтягування і стиснення.[5]

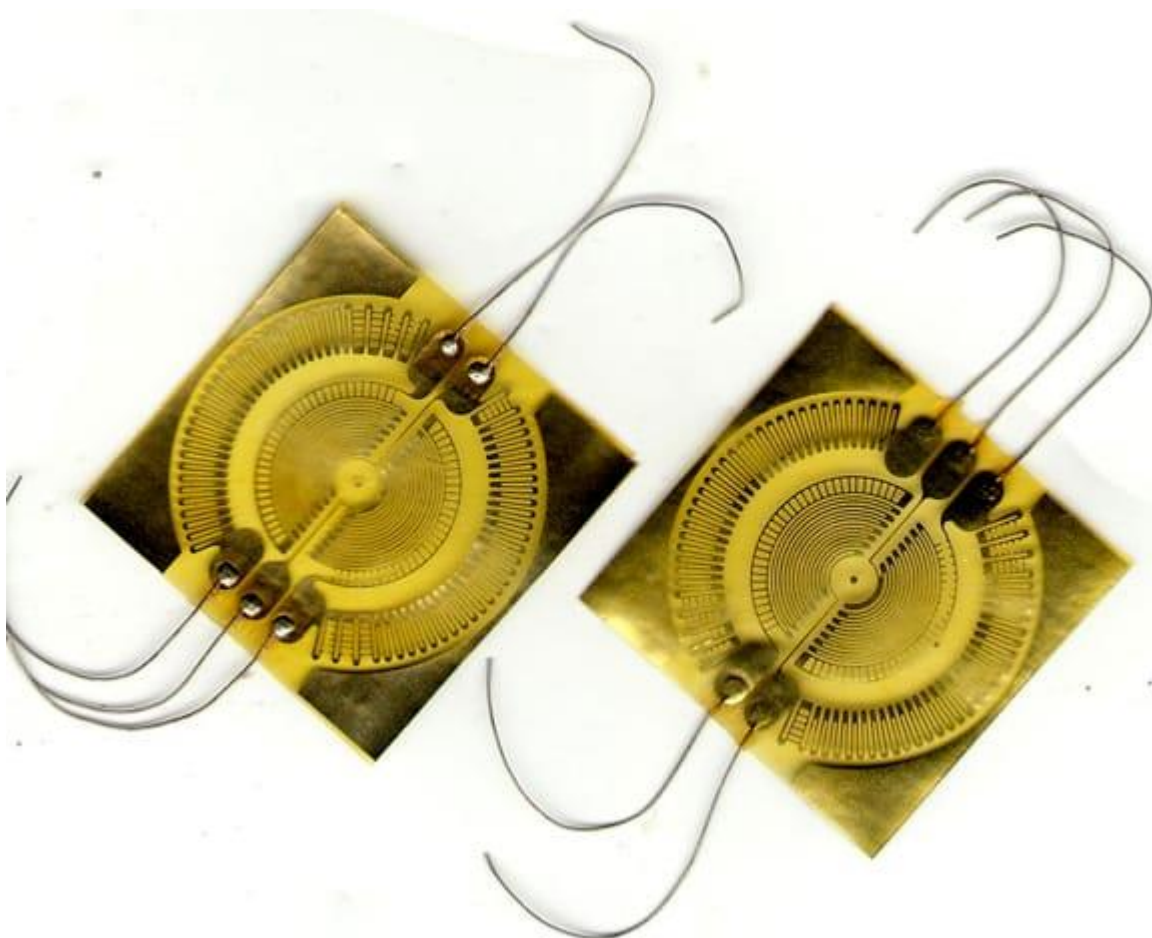


Рисунок 10 – Дротяний датчик

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

1.2 Типи вагових терміналів

За призначенням ваги поділяються на такі основні групи:

1. Загальне призначення;
2. технологічні;
3. лабораторні;
4. метрологічні.

Ваговимірювальні прилади що використовуються для загального призначення застосовуються в сільському господарстві, торгівлі, промисловості, та на транспорті.

Технологічні ваги застосовуються безпосередньо для зважування і дозування рідких і сипучих продуктів і матеріалів при масовому або одиничному фасуванні.

Лабораторні ваги, в яких присутня висока точність вимірювань, застосовують у товаро-випробувальних станціях, ювелірних магазинах, лабораторіях підприємств харчової промисловості. Працівники органів Держспоживстандарту для проведення повірочних робіт зазвичай використовують метрологічними ваги.

За визначенням конструкції зважувального пристрою розрізняють електронно-тензометричні й важільні ваги.

За основу конструкції важільних ваговимірювальних приладів взято закони механіки, за допомогою яких визначаються фізичні властивості різних видів важеля, а саме жорсткий стрижень, що має нерухому точку опори.

Важелі поділяються на рівноплечі і нерівноплечі. У рівноплечого важеля точки навантаження сили - на однаковій відстані від нерухомої точки опори. Маса товару знаходиться саме тоді, коли настає рівновага, тобто маса товару і маса гир будуть мати рівні числові значення. Точки навантаження сил у нерівноплечого важеля знаходяться на різній відстані від точки опори ваг. Співвідношення малого і великого плечей важелів, наприклад, у товарних ваг буває 1: 100. Для досягнення рівноваги потрібно на два плеча такого важеля подіяти масою груза, значення якої обернено пропорційне довжині плечей.[6]

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

В електронно-тензометричних вагах основним конструктивним елементом є тензометричний датчик, який перетворює зусилля, викликані зважуванням, в електричний сигнал, що має певне значення частоти. Сигнал несе свій шлях до електричного блоку, з якого інформація виходить на зовнішній носій інформації. На цифровому табло висвітлюються цифри, які показують ціну, масу й вартість товару.

За місцем і типом установки ваги бувають стаціонарні, настільні і пересувні. До настільних можуть належати електронні ваги, циферблатні і гирьові. До пересувних зазвичай належать масивні платформові ваги, що призначаються для зважування великих (до 100тон) вантажів при їх відправленні і прийманні.

Ці ваги встановлюються на максимально рівній підлозі в пунктах прийому товарів, складах та магазинах. Платформові стаціонарні ваги в основному монтуються на постійному місці без подальшого їх переміщення і використовуються для зважування залізничних вагонів і автомашин. Переміщення цих ваг неможливе без попередніх робіт для демонтажу.

За видом відліку і способом зняття показань ваги бувають з візуальним відліком і з документальним визначенням показань. Візуальний відлік - це безпосереднє зчитування показань з циферблату, шкал або підрахунок маси гир.

Для збереження даних і виведення даних від тензодатчика до комп'ютера використовується ваговий термінал AE12SS [5].

Термінал має наступні характеристики:

- функція звукової сигналізації 2-х заданих значень ваги;
- можливість вимірювання в Ньютонах;
- вхідні границі сигналу: $-10\text{мВ} \div 15\text{мВ}$;
- 4-х і 6-ти провідні схеми для підключення;
- показник живлення датчиків - 5В, $I \leq 150\text{мА}$;
- кількість знаків що відображаються на дисплеї - 6;
- значення дискретності 1/2/5/10/20/50;
- наявні інтерфейси: RS232, струмова петля 20мА;
- діапазон робочої температури 0-40 ° С, межа вологості $\leq 90\%$.

Термінал має наступні функціональні властивості:

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- можливість працювати в енергозберігаючому режимі;
- здатність запам'ятовування поточної ваги при вимкненні / увімкненні не втрачаючи значення;
- функція штучного підрахунку;
- функції: тарування, підсумовування ваги;
- функція стабілізації ваги для тварин «жива вага»;
- функція «Peak hold» для того щоб фіксувати максимальні значення ваги;
- можливий зв'язок з ПК через інтерфейс RS232[6].

Основною і найбільш важливою властивістю даного термінала є функція «Peak hold» що дозволить зберігати максимальне дані навантаження що витримала нитка перед тим як вона розірвалася. Друге місце має можливість передачі даних та зв'язку ввід термінала до комп'ютера що дозволить швидше та ефективніше об'єднати дані з тензодатчика і дані з інкрементального датчика кута.

Завдяки комп'ютеру запис даних експерименту значно пришвидшить процес порівняння і збору властивостей різних ниток.

1.3 Опис конструкції розривної машини

4.1. До конструкції приладу входять наступні основні вузли (рис.11): тензодатчик із системою захисту 1; пасивне захоплення 5 розміщене на ексцентрику 6; активне захоплення 4; регулятор швидкості ходу з конопкою старт 7; механізм приводу 8 до активного захоплення, що керується кнопками вниз вгору стоп (12, 13, 14).

За захисним кожухом 16 розміщено силовимірник 9, гнучкий зв'язок 15, шкалу подовження 17 і імпульсний енкодер 2.

Штанга 18 із змінним грузом 19 показує навантаження рухаючись по шкалі силовимірювача 10.

Привід 8 на якому розміщено рівень 21, що виставляються за допомогою опор віброізолюючих 3, регулятор швидкості з кнопкою старт 7, штир 20 і штанга

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

23 на якій розміщено штифт 22.

Пасивне захоплення, що розміщено на гнучкому зв'язку до маятника, використовується для закріплення одиночної нитки, яку за допомогою гвинта затискають в ньому. Для того щоб було можливо легко і зручно можнана заправити нитку в губки захоплення, для цього процесу на стійці машини встановлені спеціальні нитконапрямники.

Процес закріплення нитки в активне захоплення такий же, як і в пасивному. На активному захопленні розміщено спеціальний пристрій для попереднього натягу нитки, до складу якого входить важіль і змінні вантажі. [3].

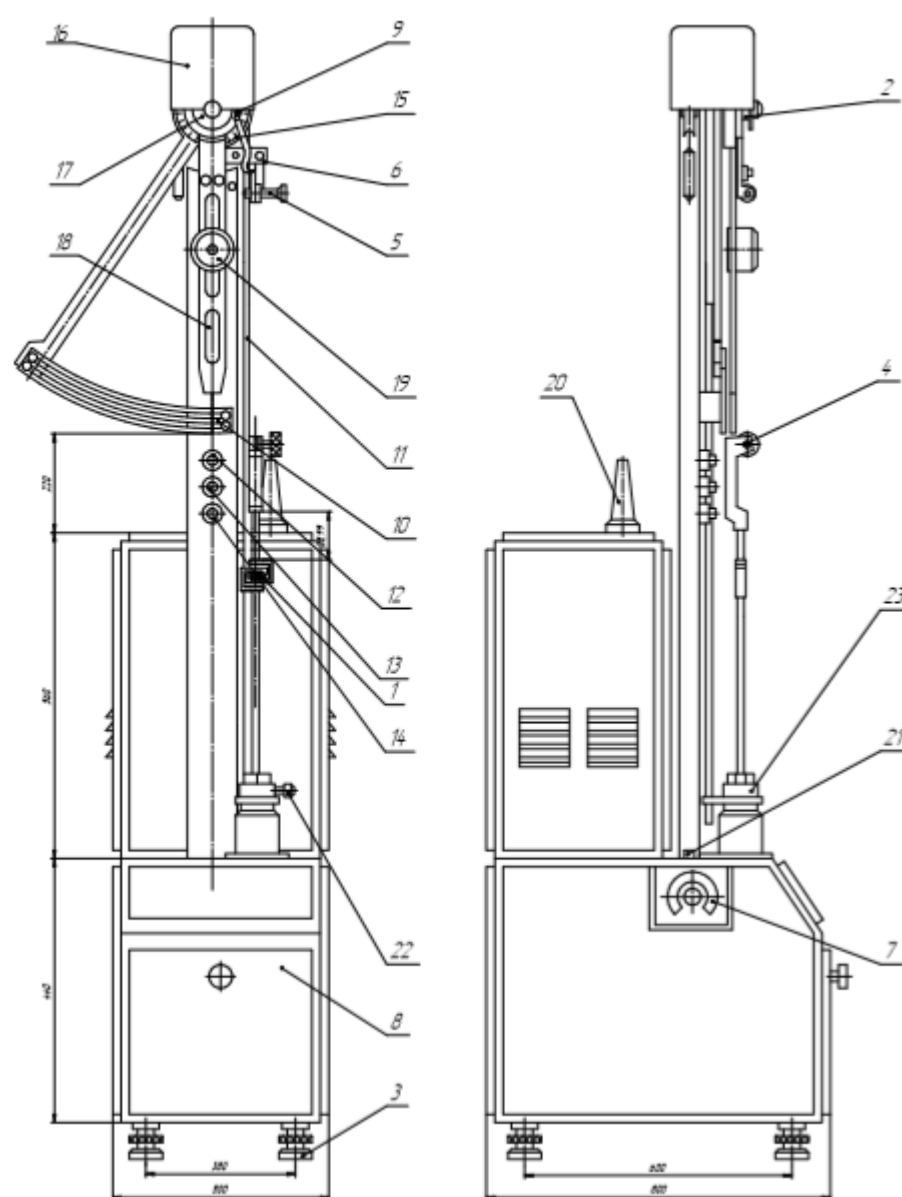


Рисунок 1.1 Розривна машина

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Приведемо опис кінематичної схеми що наведена на рис (1.2).

Для того щоб вимірювати силу застосований маятник 6, який представляє собою важіль першого роду за принципом роботи.

Вісь маятника є опорною точкою важеля. На кожне із плечей маятника прикладені сили. Із сторони пасивного захоплення прикладена сила натягу нитки, з сторони стрілки маятника сила, яку викликає маса вантажу і штанга маятника 6.

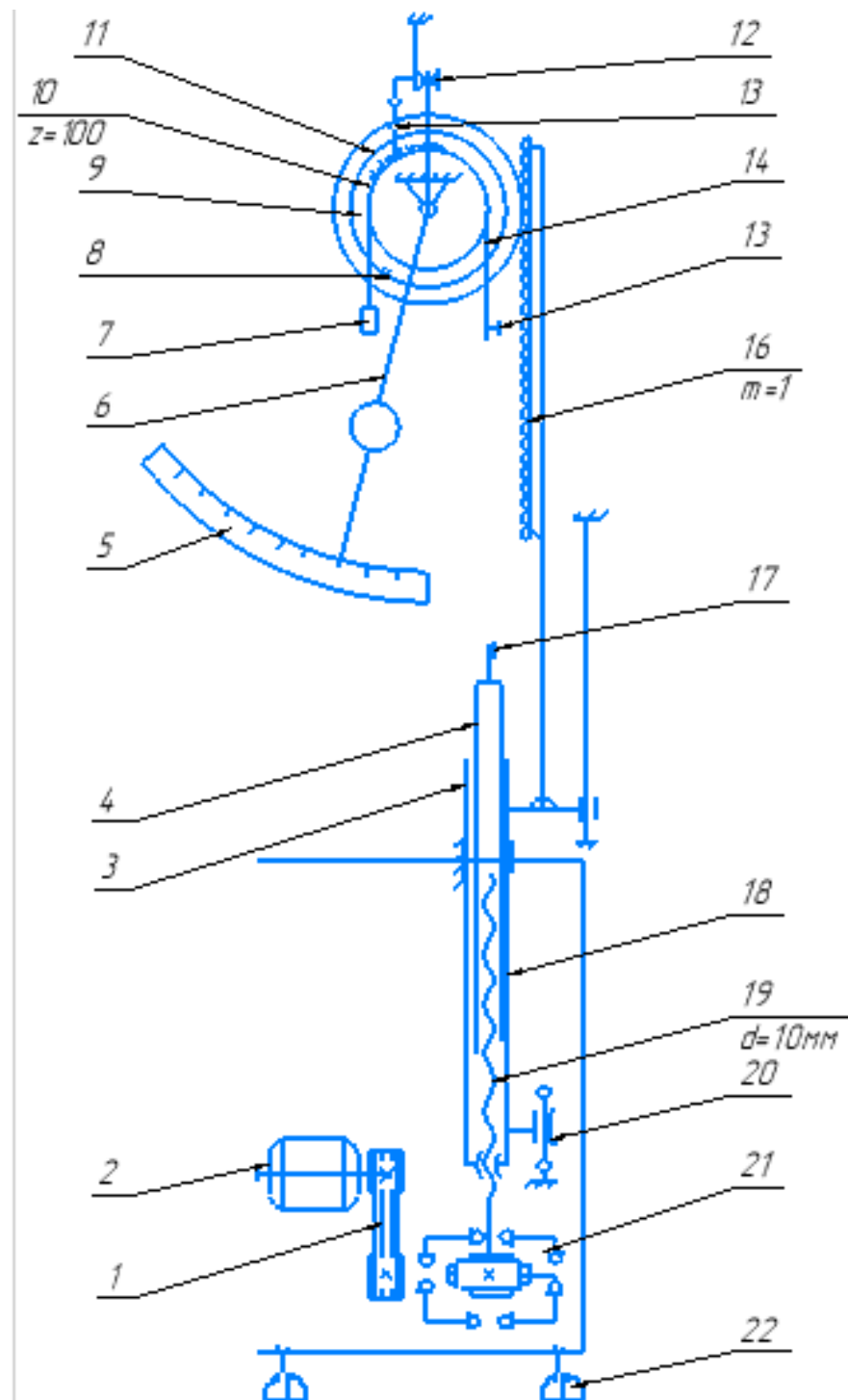


Рисунок 1.2 - Принципова кінематична схема

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

30

1-передача клиноремінна; 2-електродвигун; 3-штифт; 4-штанга; 5-шкала силовимірювача; 6-маятник силовимірювача; 7-груз-противага; 8-показник шкали подовження; 9-шкала подовження; 10-зубчасте колесо; 11-сектор зубчастий; 12-контакт вимкнення приводу; 13-собачка; 14-гнучкий зв'язок; 15-захват пасивний; 16-рейка зубчаста; 17-захват активний; 18-шпindel; 19-гвинт; 20-обмежувач ходу; 21-редуктор; 22-опора віброізолююча.

Коли збільшується сили натягу випробовувального зразку, то відповідно збільшується кут повороту маятника, зміна якого визначають за допомогою шкали силовимірювача 5.

В момент розриву тестового зразка собачка 13 фіксує положення маятника зміни якого визначають по шкалі 5, відповідного до значення розривного навантаження.

Натяг при роботі машини відбувається наступним чином.

Електродвигун використовуючи редуктора 21 передає обертання гвинту 19, по якому рухається гайка шпінделя 18, яке зв'язане з активним захопленням 17 через штангу 4. Активне захоплення через тягу пов'язаний з рейкою 16, яка за допомогою зубчастого колеса 10 рухає шкалу подовження 9.

В момент коли настає розрив нитки маятник прагне опуститися і через зубчастий сектор 11 штовхає рухоми собачку 13, яка в кінці свого руху натискає на контакти 12, які розмикають ланцюг керування електродвигуном 2 і зупиняють подачу струму до нього, в результаті чого робота електродвигуна зупиняється.

Для зняття величини подовження потрібно подивитись на значення що фіксує показник 8 [3].

Застосований динамічний спосіб гальмування двигуна для збільшення точності відліку деформації за рахунок зменшення інерції двигуна.

Двигун починає обертатись при натисканні на кнопку ВГОРУ або ВНИЗ, робочу швидкість встановлюють задатчиком швидкості. У момент руйнування зразка двигун відключається автоматично контактом К і реле РЗ.

При натисканні на кнопку ВГОРУ активне захоплення повертається в своє початкове положення за рахунок реверсу двигуна на своїй максимальній

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

швидкості. Після повернення захоплення в початкове положення двигун самостійно відключається мікровимикачем В3.

Крайнє нижнє місцеположення активного захоплення блокується мікровимикачем В2.

У кожен момент випробування двигун можна зупинити кнопкою СТОП якщо виникає така потреба.

Реле Р4 потрібне для відключення фіксатора силовимірювача [3].

1.4 Розрахунок тензодатчика

Функціональна схема тензорезисторного датчика сили прямого перетворення наведена на рис.1.3 і являє собою послідовне з'єднання що складається з трьох вимірювальних перетворювачів: вимірювальної схеми (ВС), пружного елемента (ПЕ) та тензорезистора (ТР).

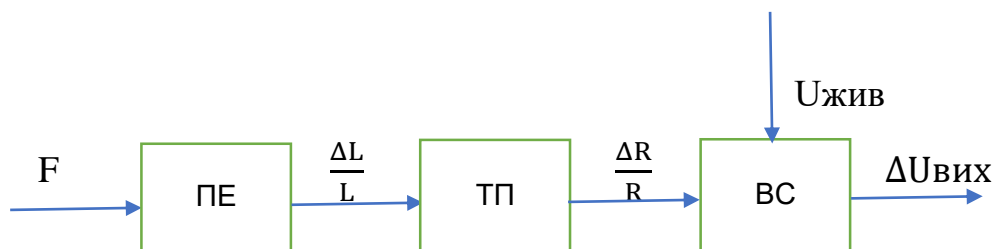


Рисунок 1.3 - Функціональна схема тензорезисторного датчика

Тензорезисторний датчик сили застосовується для виміру статичних сил. Пружний елемент датчика створений в формі балки подвійного згину, пружний шарнір, якої створений у вигляді паралелограму. Під час навантаження балка прогинається і цим самим викликає деформацію фольгових тензорезисторів. Два тензорезистори визначають сили стиску, а два інші – сили розтягнення. Чутливі елементи з'єднані в мостову схему, напруга на виході якої при незмінній напрузі живлення пропорційна вимірюваному значенню сили [7].

1.4.1 Математична модель тензодатчика

Модель тензодатчика представлена як демпфер масової пружинної системи, де m - маса пружного елемента до якого кріпиться тензодатчик. M - це еквівалентна маса тензодатчика, яка додається до меншої маси тензодатчику з постійною пружністю k .

Коли навантаження накладається на тензодатчик, протидіюча сила, що створюється пружністю, зумовлена зміщенням x від рівноваги визначається законом Гука як $f_s = -kx$.

Цього буде достатньо для моделювання тензодатчику в статичній рівновазі, але при аналізі на динамічні характеристики, важливо враховувати демпфування. В'язке демпфування є допустимим, де сила демпфування пропорційна швидкості: $f_D = -c \frac{dx}{dt}$, де c – це коефіцієнт демпфування.

Використовуючи другий закон Ньютона, є наступне диференціальне рівняння:

$$(M + m) \frac{dx^2}{dt^2} = -c \frac{dx}{dt} - kx + mg + Mg \quad (1.1)$$

Де g - середнє прискорення, створене гравітацією Землі.

Рішення рівняння (1.1) має вигляд:

$$x = c_1 e^{-\mu t} \cos(\omega t) + c_2 e^{-\mu t} \sin(\omega t) + \frac{(M+m)g}{k} \quad (1.2)$$

Де c_1 і c_2 - константи, які залежать від початкових умов. Коефіцієнт демпфування (μ):

$$\mu = \frac{c}{2(M+m)} \quad (1.3)$$

а частота ω дорівнює:

$$\omega = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4k(M+m)-c^2}{(M+m)^2}} \quad (1.4)$$

З рівняння (1.4) ми бачимо, що при більшій вазі частота зменшується і з рівняння (1.2), що амплітуда коливань збільшуватиметься з більшою вагою.[11]

Вихідне значення тензодатчика з машини було перетворене в грами. Коли вихід з машини не має значення грамів, коефіцієнт конверсії необхідно враховувати. Тому нове рівняння набуде вигляду:

$$\dot{x} = a(c_1 e^{-\mu t} \cos(\omega t) + c_2 e^{-\mu t} \sin(\omega t) + \frac{(M+m)g}{k}) \quad (1.5)$$

Де a - коефіцієнт перетворення (міліметри до грамів).

Рівняння (1.1) застосовується у випадках, коли відхилення відбувається від сталого стану, яке не є виключно масою тензодатчика, тобто $m \neq 0$. Це було б видно із зміщення в графіку як показано на рис.1.4.

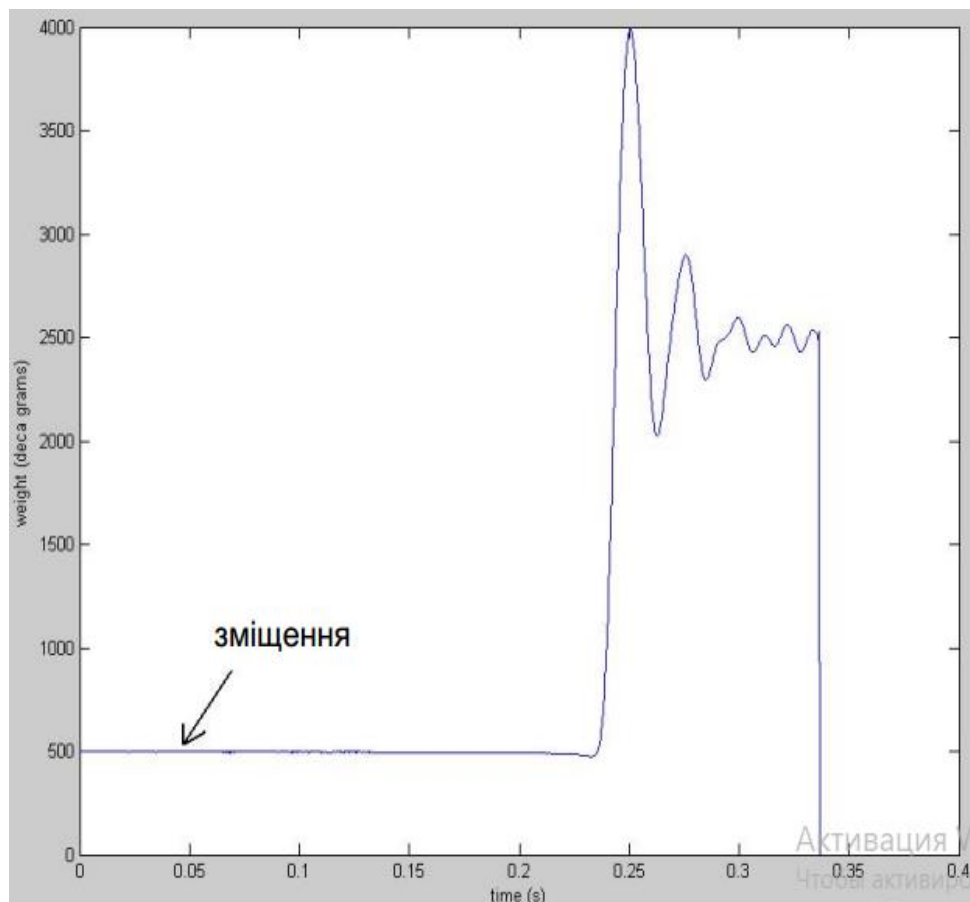


Рисунок 1.4 - Зсув на графіку ваги

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

У випадках, коли зміщення дорівнює 0, використовується рівняння (1.6).

$$(M + m) \frac{d\tilde{x}^2}{dt^2} = -c \frac{d\tilde{x}}{dt} - k\tilde{x} + mg \quad (1.6)$$

Це має таке рішення;

$$\tilde{x} = c_1 e^{-\mu t} \cos(\omega t) + c_2 e^{-\mu t} \sin(\omega t) + \frac{mg}{k} \quad (1.7)$$

Де μ і ω мають ті ж значення, що були визначені в рівняннях (1.3) і (1.4).

Зауважимо, що рівняння (1.6) можна отримати з рівняння (1.1) шляхом визначення $\tilde{x} = x - \frac{Mg}{k}$.

Це є \tilde{x} - зміщення зі стаціонарного стану, коли $m = 0$.

Метод усереднення базується на припущенні, що коливальній реакції потрібно достатньо часу щоб заспокоїтися. Вага може бути знайдена зі значення графіка, коли він став стійкий.

Розглядаються два рішення. По-перше, де відхилення від стійкого стану не виключно за масою тензодатчика з врахованим коефіцієнтом перетворення (Рівняння(1.5)). Другий - де відхилення від сталого стану, коли $m = 0$ (рівняння (1.7)).

Враховуючи межу першого рішення моделі (рівняння (1.5));

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x(t) = a \frac{(m+M)g}{k} \quad (1.8)$$

Зауважимо, що це рівняння з $\alpha = 1$ є рішенням моделі, в якій не відбувається перетворення міліметрів і прогин - від незавантаженої пружини. Аналогічно, розглядаючи межу другого рішення моделі (рівняння (1.7));

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x(t) = \frac{mg}{k} \quad (1.9)$$

На рис.1.5 показана межа коливального графіка, де β - постійний множник маси.

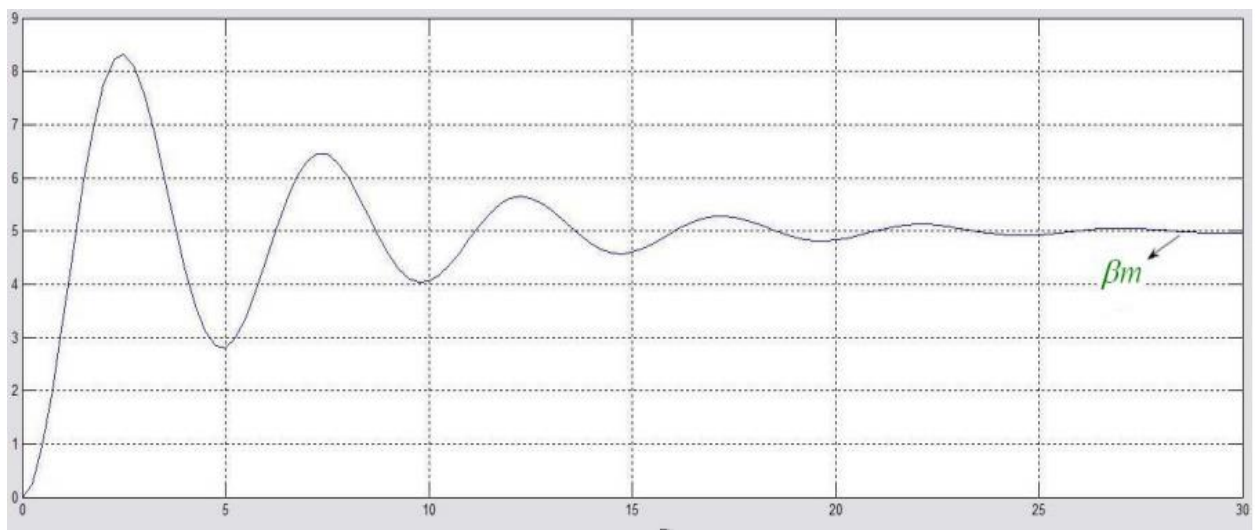


Рисунок 1.5 - Межа коливань вагового графіку

Щоб знайти невідому масу над тензодатчиком, рівняння (1.8) можна переставити;

$$m = \frac{k \lim_{n \rightarrow \infty} x(t)}{ag} - M \quad (1.10)$$

Аналогічно, рівняння (1.9) можна перетворити, щоб знайти невідому масу (m), маючи;

$$m = \frac{k \lim_{n \rightarrow \infty} x(t)}{a} \quad (1.11)$$

Середнє значення цих вимірювань приймається для компенсації випадків, коли графіки все ще коливаються у відведений час.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

1.4.2 Розрахунок тензорезистору

Чутливість будь-якого тензорезистора (коефіцієнт тензочутливості) визначається властивостями матеріалів тензорезистора і його здатністю при деформації міняти геометричні розміри і завжди більша від одиниці.

Значення коефіцієнта тензочутливості визначається за формулою

$$S = (1 + 2\mu) + m = (1 + 2 * 0,3) + 1 = 2,6,$$

де μ -коефіцієнт Пуасона;

m -відносна зміна опору що викликана відносною деформацією, $m=1$.

Для розрахунку тензодатчика використовуємо тензорезистор КФ5 П11-10-200-В12 характеристики чутливого елементу наступні:

- ширина підложки : $B=7,4$ мм;
- довжина підложки: $L=18,5$ мм;
- номінальний опір: $R=200$ Ом;
- значення ширини чутливого елементу: $C=2,85$ мм;
- база тензорезистору: $A=10$ мм;
- допустима відносна деформація: $\epsilon_q=1,5*10^{-3}$;
- коефіцієнт тензочутливості: $S=2,6\pm0,2$;
- максимальний допустимий струм живлення: $I_{\max}=30$ мА;
- робочі температурні границі: $T=(70\div200)$ °С;
- максимальне відхилення опору від номінального: $\Delta R_g=\pm0,2\%$.

Тензорезистора у вигляді консольної балки має зміну опору що розраховується за формулою

$$\epsilon_R = CS_\epsilon,$$

де S -коефіцієнт тензочутливості;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

ϵ -відносна деформація зони пружного елементу;

C-коефіцієнт використання деформації.

Частину максимальних деформацій зони яка використовується в подальшому перетворенні можна знайти за допомогою коефіцієнта використання деформації.

Через те, що деформація що використовується в роботі прямо пропорційна показнику чутливості, то

$$C = \frac{\epsilon_{cp}}{\epsilon_{max}} = \frac{S_{cp}}{S_{max}} = \frac{B_{cp}}{B_{max}},$$

де ϵ , S , B - це робоча відносна деформація, чутливість і конструктивний коефіцієнт пружного елементу який використовують в роботі.

Коли використовують n кількість робочих тензорезисторів, то відносне значення зміни опору дізнаються за формулою

$$\epsilon_{RZ} = n C_Z S_{\epsilon},$$

де n -число робочих тензорезисторів.

C_Z – еквівалентний коефіцієнт деформацій, визначається

$$C_Z = B_{max} * C,$$

де B - це максимальне значення конструктивного коефіцієнту зони деформації тензорезистору.

Для балки $B_{max}=B$, $C=0,5$,

отже, $C_Z=6*0,5=3$.

1.4.3 Вибір і розрахунок пружного елемента

Для пружного елемента, створеного у вигляді балки рівного прямокутного розрізу, що має жорстко посаджений один кінець тіла, зв'язок між прикладеною силою P і граничними деформаціями які знімають від поверхні напружень визначається відношенням,

$$\varepsilon = \frac{6l}{hFE'}$$

Гранична верхня межа чутливості балки рівного розтину

$$\varepsilon = \frac{6l}{hFE'} * P = S\beta_{\max} * P, \quad (1.12)$$

де P -прикладена сила;

F -переріз балки, $F=h*b$;

h -товщина балки;

E -модуль пружності матеріалу розраховуваної балки;

ε -деформація балки;

l -довжина балки, $d=24\text{мм}$;

Для випадку коли для роботи виконується максимальне навантаження формула (1.12) це функція перетворення зусилля в деформацію.

В даній ситуації чутливість визначається числовим коефіцієнтом.

Присвоїмо йому назву конструкційного коефіцієнта чутливості B_6 .

Його показник буде мінятись в залежності від довжині балці графік цих змін наведено на рисунку 1.6.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

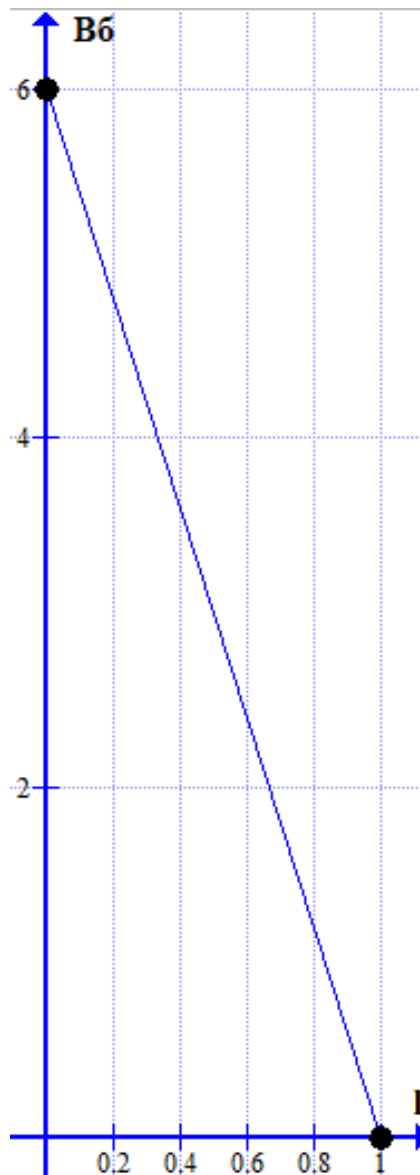


Рисунок 1.6 - Лінійна залежність коефіцієнта чутливості від довжини балки

Якщо використанна не повна довжини балки то залежність змін $B_{\delta \text{ср}}$ показано на графіку (рис 1.7), де $X_{\delta}=10$ мм, X_{δ} - довжина зони що використовується, довжина тензорезистора. Значення $B_{\delta \text{ср}}$ лінійно зменшується від 6 до 3.

Якщо балка використовується повністю під установку тензорезистора чи іншого вимірювального перетворювача, то значення конструктивного коефіцієнта чутливості буде становити $B_{\delta \text{ср}}=3$.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

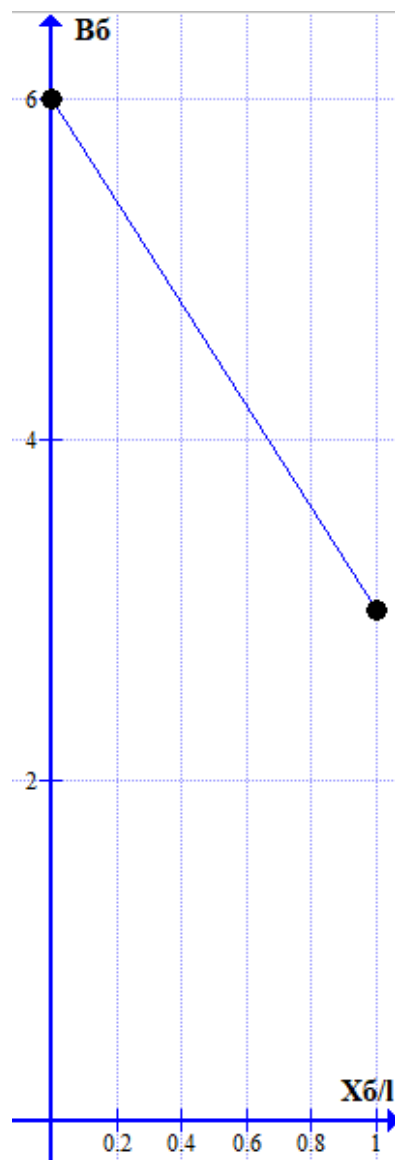


Рис. 1.7 - Лінійна залежність коефіцієнта чутливості X_6/l [8]

Характер розподілення напруги в балці має такий вигляд як і характер зміни конструктивного коефіцієнта чутливості.

Отже, загальний вираз функції перетворення балки жорстко закріпленої одним кінцем із рівним перерізом матиме вигляд

$$\varepsilon = \frac{B_6 l}{h F E'}$$

А загальний вираз чутливості

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

$$S_6 = \frac{d\varepsilon}{dP} = \frac{B_6 l}{hFE},$$

Оскільки довжина балки $l=24\text{мм}$, а база тензорезистора дорівнює 10мм , то їх відношення таке $\frac{x_6}{l} = \frac{10}{24} 0,42$.

Опираючись на залежність на рис.1.4 знаходимо, що $B_6=4,7$.

Гранична відносна деформація тензорезистора від бази становить $0,03\%$.

Одержуємо

$$\Delta l = \frac{0,03 * 10}{100} = \frac{0,3}{100} = 3 * 10^{-6}(\text{м}),$$

Зважаючи на умови міцності буде вибрано $0,015\%$ від бази

$$\Delta l = \frac{0,015 * 10}{100} = 1,5 * 10^{-6}(\text{м}),$$

Матеріалом який необхідний для виготовлення пружного елементу є Д16Т ГОСТ 4784-97 (дюралюмінієвий сплав).

Значення модуля пружності дюралюмінієвого сплаву становить: $E=0,7*10^4\text{кг/мм}^2=0,07*10^{11}\text{Н/м}^2$.

Знаходимо напруження у зоні деформації:

$$\sigma = \varepsilon_{\max} * E = 1,5 * 10^{-3} * 0,7 * 10^4 = \frac{1,05\text{кгс}}{\text{мм}} \leq [\text{G}],$$

$$\sigma = 0,105 * 10^5\text{Н/м} < [880 * 10^6\text{Н/м}],$$

Напруга у зоні деформації виконує поставлені вимоги. Знаючи відносну деформацію необхідний момент супротиву

$$W = \frac{bn^2}{6},$$

$$h * F = h * b * h - bn^2,$$

$$hF = \frac{B_6 * l}{\varepsilon * E} P = \frac{4,7 * 24}{1,5 * 10^{-4} * 0,7 * 10^4} * 10 = \frac{112,8}{1,05} * 10 = 1074,28 \text{ мм}^3 = 107,4 * 10^{-5} (\text{м}^3),$$

Знайдемо чутливість в зоні деформації знаючи значення hF

$$S_b = \frac{B_6 l}{h * F * E} = \frac{4,7 * 24}{1074,28 * 0,7 * 10^4} = 1,5 * 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{кгс}} \right) = 1,5 * 10^{-5} \left(\frac{1}{\text{Н}} \right),$$

Визначимо місце наклейки тензорезистору, знаючи б(напруга) і W(момент опору)

$$G = \frac{M}{W} = \frac{6 * Pl_m}{h * F} \rightarrow l_m = \frac{GhF}{6p},$$

$$l_m = \frac{1,05 * 1074,28}{6 * 10} = 18,79 (\text{мм}) = 19 (\text{мм}),$$

Чутливий елемент (тензорезистор) приклеюємо на відстані 19мм від місця закріплення.

Визначимо оптимальні параметри пружного елемента. Для цього потрібно побудувати перехідну і передаточну функції ланки пружного елемента.

Перед тим як почати розрахунки розглянемо коливання системи коли сили опору при коливанні пропорційні швидкості руху з одним степенем свободи. Для одержання робочого рівняння руху вантажу потрібно використати принципом Даламбера (умови динамічної рівноваги вантажу розглядуємо як випадок коли його відхиленні на відстань x від положення статичної рівноваги)

$$2mg - m\ddot{x} - d\dot{x} = mg + cx, \quad (1.13)$$

де mg -вантаж, $mg=10 \text{ кгс}=100 \text{ Н}$;

c -коефіцієнт жорсткості пружини, що дорівнює значенню сили,

$d\dot{x}$ - значення пропорційної швидкості, діючої в напрямленні зворотному руху;

Диференціальне рівняння системи матиме такий вигляд

$$m\ddot{x} + d\dot{x} + cx = mg,$$

Запишем передаточну функцію ланки

$$W(p) = \frac{L[y]}{L[x]} = \frac{1}{mp^2 + ap + c} = \frac{\frac{1}{c}}{(\sqrt{\frac{m}{c}})^2 p^2 + 2 \frac{a}{2\sqrt{mc}} * \sqrt{\frac{m}{c}} + 1},$$

де $T = \sqrt{\frac{m}{c}}$ – коефіцієнт, маючий розмірність часу;

$S = \frac{1}{c} = \frac{X_{cm}}{mg}$ - чутливість ланки;

$\gamma = \frac{a}{2\sqrt{mc}}$ - степінь заспокоєння (безрозмірний коефіцієнт).

Порахуємо значення числових коефіцієнтів.

Формула для визначення чутливості ланки матиме вигляд

$$S = \frac{X_{cm}}{mg},$$

де $mg=10 \text{ кгс}$ – маса вантажу;

X_{cm} – це значення статичного переміщення вантажу, що визначається за формулою

$$X_{cm} = \frac{Ql^3}{3E \cdot I}, \quad (1.14)$$

де $Q=mg=10$ кгс;

$E=0,7 \cdot 10^4$ кгс/мм²-модуль пружності матеріалу;

$l=24$ мм-довжина балки;

$$I = \frac{bn^3}{12} = \frac{16 \cdot 7,5^3}{12} = 562,5 (\text{мм}^4) = 5,6 \cdot 10^{-10} (\text{м}^4),$$

Підставляємо наші значення до формули (1.14)

$$X_{cm} = \frac{10 \cdot 24^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 562,5} = 156,038 \cdot 10^{-4} (\text{мм}),$$

$$X_{cm} = 1,56 \cdot 10^{-5} (\text{м}),$$

Значення чутливості ланки дорівнює

$$S = \frac{X_{cm}}{mg} = \frac{1,56 \cdot 10^{-5}}{10} = 15,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{Н}},$$

Проведемо розрахунок значення $T = \sqrt{\frac{m}{c}}$

$$m = \frac{Q}{g} = \frac{10}{9,81} = 1,02 (\text{кг}) = 10,2 (\text{Н}),$$

$$C = \frac{Q}{X_{cm}} = \frac{mg}{X_{cm}} = \frac{10}{156,038 \cdot 10^{-7}} = 640869 \frac{\text{кг}}{\text{с}^2},$$

$$C = 0,64 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{с}^2},$$

В результаті розрахунків $T = \sqrt{\frac{1,02}{640869}} = 0,0012(\text{с})$.

Для того щоб провести розрахунок величини γ , потрібно для початку визначити коефіцієнт демпфірування a .

$$a = b * l * \frac{1}{2} \left(\frac{0,248}{b} + 0,169 \right) * 10^{-3} \frac{\Gamma * \text{с}}{\text{см}}, \quad (1.15)$$

де $b=1,6$ см;

$l=2,4$ см;

$b=1,5$ см.

Розраховані значення підставимо у формулу (1.15)

$$\begin{aligned} a &= \frac{1,6 * 2,4^2}{2} \left(\frac{0,248}{1,5} + 0,169 \right) * 10^{-3} = 4,608 * 0,334 * 10^{-3} = \\ &= 1,54 * 10^{-3} \left(\frac{\Gamma * \text{с}}{\text{см}} \right), \end{aligned}$$

$$a = 1,54 * 10^{-3} \frac{\Gamma * \text{с}}{\text{см}} = 1,54 * 10^{-4} \frac{\Gamma * \text{с}}{\text{мм}} = 1,54 * 10^{-3} \frac{\text{Нс}}{\text{м}},$$

$$\begin{aligned} 2\sqrt{mc} &= 2 \sqrt{\frac{Q}{g} * \frac{Q}{X_{cm}}} = 2 * Q \sqrt{\frac{1}{9,81 * 10^3 * 156,038 * 10^4}} = \\ &= 2 * 10 \sqrt{\frac{1}{9,81 * 156038}} = 2 * 10 * 8,083 * 10^{-2} \frac{\text{с}}{\text{мм}} = \\ &= 1,616 * 10^3 \frac{\Gamma * \text{с}}{\text{мм}} = 1,616 * 10^{-2} \frac{\text{Н} * \text{с}}{\text{м}}, \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{a}{2\sqrt{mc}} = \frac{1,54 * 10^{-4} \frac{\Gamma * \text{с}}{\text{мм}}}{1,616 * 10^3 \frac{\Gamma * \text{с}}{\text{мм}}} = 0,06 * 10^{-7},$$

$\gamma=0,06*10^{-7}$ - система буде майже незатухаючою оскільки коефіцієнт заспокоєння, надзвичайно малий. Отже потрібно ввести більш жорсткий

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

демпфер для того, щоб система була більш оптимальною.

Вносим до систему гумовий поглинач і прораховуємо його коефіцієнт заспокоєння

$$\gamma_p = \frac{B}{\omega},$$

де В-стала для тонкошарової гуми, В=28;

ω - значення частоти коливання пружного елементу.

В нашому випадку отримуємо

$$\omega = \frac{\sqrt{1 - \gamma^2 b}}{T_i} = \omega_0 \sqrt{1 - \gamma^2 b},$$

де ω_0 - значення власної частоти коливань не демпфірованих пружного елементу.

$$\omega_0 = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{0,0012} = 833,3 \left(\frac{1}{c} \right),$$

$$\sqrt{1 - \gamma^2 b} = \sqrt{1 - 0,06 - 10^{-7}} \approx 1,$$

$$\omega = 833,3 \frac{1}{c},$$

Коефіцієнт заспокоєння гуми буде

$$\gamma_p = \frac{28}{(833,3)1,15} = 0,029,$$

Сумарне значення коефіцієнту заспокоєння для ланки буде становити

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\gamma = \gamma_b + \gamma_p = 0,06 * 10^{-7} + 0,029 \approx 0,029,$$

Напишем перехідну функцію

$$\begin{aligned} y(t) &= Q * S \left\{ 1 - e^{-\gamma \frac{t}{T_i}} \left[\cos \left(\sqrt{1 - \gamma^2} * \frac{t}{T_i} \right) + \frac{\gamma}{\sqrt{1 - \gamma^2}} \sin \left(\sqrt{1 - \gamma^2} * \frac{t}{T_i} \right) \right] \right\} = \\ &= 10 * 15,6 * 10^{-4} \left\{ 1 - e^{-0,029 * \frac{t}{0,0012}} \right\} \left[\cos \left(\sqrt{1 - (0,029)^2} * \frac{t}{0,0012} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{0,029}{\sqrt{1 - 0,029^2}} \sin \left(\sqrt{1 - 0,029^2} * \frac{t}{0,0012} \right) \right] \} = \\ &= 156,04 \\ &\quad * 10^{-6} \{ 1 - e^{-10t} [\cos 7,69 * 10^2 t + 2,9 * 10^{-2} \sin 7,69 * 10^2 t] \}, \end{aligned}$$

Оскільки значення коефіцієнту заспокоєння замале, то необхідно в ланку ввести додатковий елемент. Для цієї цілі візьмемо і введем в систему дві гофровані мембрани.

Визначим геометричні параметри і значення впливу мембрани на результат динамічної характеристики розглянутої ланки.

Значення статичне переміщення пружного елемента становить $X_{cm} = 1,56 * 10^{-5}$ м.

Розрахуємо величину зусилля Q- що здатне переміщувати мембрани на величину $X_{cm} = 1,56 * 10^{-5}$ м.

З допомогою формули

$$\frac{QR^2}{\pi E h} = \eta_Q a_Q * \frac{X_{cm}}{h} + \gamma_Q b_Q * \frac{X_{cm}^3}{h^3}, \quad (1.16)$$

де

$$a_Q = \frac{(1+a)^2}{3K_1 \left(1 - \frac{\mu^2}{a^2} \right)}, \quad (1.17)$$

$$b_Q = \frac{K_1}{a^2 - 1} \left[\frac{1}{2} - \frac{1 - \mu}{(a - \mu)(a + 1)} \right], \quad (1.18)$$

Значення коефіцієнти η_Q і γ_Q залежать від радіусу і геометрії гофрування $\rho_0 = \frac{r_0}{R}$ жорстко посадженого центру.

Зважаючи на конструкцію датчика $\rho = 0,25$ за присвоюємо $H=2$ мм, $h=0,1$ мм.

$$a^2 = K_1 * K_2; \quad K_1 = 1,$$

$$K_2 = \frac{3}{2} * \frac{H^2}{h^2} + 1 = \frac{3}{2} * \frac{4}{0,01} + 1 = 601,$$

$$a^2 = 601 \rightarrow a = 24,5$$

При $\rho = 0,25$, $a=24,5$ $\eta_Q \approx 1,05$, $\gamma_Q = 2,34$.

Визначені значення підставляємо в формулу (1.17). Отримуємо

$$a_Q = \frac{(1 + a)^2}{3K_1(1 - \frac{\mu^2}{a^2})} = \frac{(1 + 24,5)^2}{3 * 1(1 - \frac{0,3^2}{24,5^2})} = 216,78,$$

$$b_Q = \frac{K_1}{a^2 - 1} \left[\frac{1}{2} - \frac{1 - \mu}{(a - \mu)(a + 1)} \right] = \frac{1}{24,5^2 - 1} \left[0,5 + \frac{0,7}{(24,5 - 0,3)(24,5 + 1)} \right] = 8,3 * 10^{-4},$$

Використовуємо отримані значення в формулі

$$\begin{aligned} & \mu_Q a_Q * \frac{X_{cm}}{h} + \gamma_Q b_Q * \frac{X_{cm}^3}{h^3} = \\ & = 1,05 * 216,78 * 156,038 * 10^{-3} + 2,34 * 8,3 * 10^{-4} * \frac{0,0156^3}{0,001} = \\ & = 35,5 + 7,38 = 42,88, \end{aligned}$$

Формула (1.16) набуде вигляд

$$\frac{QR^2}{\pi E h^4} = 42,88,$$

$$E = 1,33 * 10^4 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} = 1,33 * 10^{-1} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

Знайдемо

$$Q = \frac{42,88 * \pi E h^4}{R^2} = \frac{42,88 * 1,33 * 10^4 * 3,14 * 10^{-4}}{45,7^2} = 0,087(\text{кгс}) = 0,8\text{Н},$$

Оскільки у нас є дві гофровані мембрани, то для того щоб мембрана переміщувалась на величину $1,56 * 10^{-5}\text{м}$ потрібно зусилля $2Q=1,6\text{Н}$.

Знехтувати цим зусиллям по відношенню до номінального через те що його значення значно менше

$$1,6 \ll 100\text{Н}$$

Значення коефіцієнту заспокоєння буде рівнятись

$$a = \pi R^3 \left(\frac{0,248}{\delta} + 0,169 \right) * 10^{-3},$$

де $R=45,7 \text{ мм} = 4,57 * 10^{-2}$ – радіус перерізу гофрованої мембрани;

$\delta=0,00046 \text{ см}$ – проміжок між радіусами.

Тоді

$$a_M = \pi (4,57)^3 * \left(\frac{0,248}{0,00046} + 0,169 \right) * 10^{-3} = 161,1 \frac{\text{Н} * \text{с}}{\text{м}} \rightarrow \gamma = \frac{a}{2\sqrt{mc}} = 0,1,$$

Значення коефіцієнту сумарного заспокоєння буде рівнятись

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$\gamma = \gamma_b + \gamma_p + \gamma_m = 0,012 + 0,1 = 0,112,$$

Формула для знаходження перехідної функція пружної ланки прийме наступний вигляд

$$y(t) = Q * S * \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \left[\cos \left(\sqrt{1 - \gamma^2} * \frac{t}{T} \right) + \frac{\gamma}{\sqrt{1 - \gamma^2}} \sin \left(\sqrt{1 - \gamma^2} * \frac{t}{T} \right) \right] \right\},$$

Вставивши визначені дані у перехідну функцію отримаємо наступні значення

$$\begin{aligned} y(t) &= 1,56 * 10^{-6} \left\{ 1 - e^{-0,112 \frac{t}{0,0012}} \left[\cos \left(\sqrt{1 - 0,112^2} \frac{t}{0,0012} \right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{0,112}{\sqrt{1 - 0,112^2}} \sin \left(\sqrt{1 - 0,112^2} * \frac{t}{0,0012} \right) \right] \right\} = \\ &= 1,56 * 10^{-6} \{ 1 - e^{-86,9t} [\cos 759,4t + 0,114 \sin 759,4t] \}, \end{aligned}$$

Кінцевий результат буде такий

$$y(t) = 1,56 * 10^{-6} \{ 1 - e^{-86,9t} [\cos 759,4t + 0,114 \sin 759,4t] \},$$

Оскільки для нашого прибору на динамічну характеристику впливає лише значення пружної ланки, то можна розглядати виключно його динамічну характеристику.

1.4.4 Динамічний режим тензорезисторного датчику

Системи різних типів груп датчиків несуть в собі прямі стержні перемінного або постійного розрізу, умови навантаження і кріплення яких вносять можливість віднести їх до пружних приладів балочного типу. У

динамічному режимі дані елементи виконують поперечні коливання що викликають в балках деформацію згину. Зазвичай, довжина балок має значно більше значення лінійного розміру розрізу, а напрямок дії прикладеної сили навантаження такий же як і вісь найменшого жорсткого розрізу. [11].

В нашому випадку вихідною величиною системи є відносна деформація верхніх шарів матеріалу балок, змінена в електричний сигнал за допомогою чутливих елементів.

Всі наявні балки мають густину матеріалу ρ , товщину h , ширину b , довжину l .

Поперечні коливання описуються диференціальним рівнянням при умові що демпфірування відсутнє

$$\frac{\partial^4 y(x_1 t)}{\partial x^4} + \frac{m}{EI} * \frac{\partial^2 (x_1 t)}{\partial t^2} = 0,$$

де I - значення моменту інерції поперечного розрізу балки відносно осі що проходить через центр ваги і має перпендикулярне направлення щодо згину

m – значення маси;

$y(x_1 t)$ -поперечний розріз точки X від положення рівноваги на осі балки;

Значення згинів у функції $y(x_1 t) = y(x) \cos \Omega t$, де форма коливань $y(x)$ знаходиться за

$$y(x) = B_1 \cosh kx + B_2 \cos kx + B_3 \sinh kx + B_4 \sin kx,$$

де $k_4 \Omega$ значення що зв'язані таким співвідношенням

$$k = \sqrt{m - \Omega^2 E^{-1} I_1},$$

Значення сталих інтегрування $B_1 B_4$ розраховують спираючись на наступні умови:

1. При умові що закріплення кінця жорстке $x=l$, маємо

$$y(x) = 0 \text{ і } \frac{\partial y(x)}{\partial x} = 0,$$

2. Якщо значення $x=0$ знаходиться на вільному кінці коли відсутній згинаючий ефект

$$EI \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2} = 0 \text{ або } \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2} = 0,$$

3. Останньою граничною умовою є рівняння руху сконцентрованої маси, M в відповідності з правилами Даламбера

$$F(t) - M \frac{\partial^2 y(x_1 t)}{\partial t^2} \Big|_{x=l} + 2EI \frac{\partial^3 y(x_1 t)}{\partial x^3} \Big|_{x=l} = 0,$$

де другий і третій доданки лівої частини виражають відповідну силу інерції і силу пружного опору двох балок.

Дізнавшись сталі значення інтегрування, прорахуємо формулу поперечних коливань пружного елемента

$$y(x) = \frac{2Fm[T(kl)U(kx) - S(kl)V(kx)]}{2EIK^3E(kl) - M\Omega^2 B(kl)},$$

$$\text{де } T(kl) = \frac{1}{2}(chkl + \sin l);$$

$$S(kl) = \frac{1}{2}(chkl + \cos kl);$$

$$U(kx) = \frac{1}{2}(ch kx - \cos kx);$$

$$V(kx) = \frac{1}{2}(sh kx - \sin kx);$$

$$B(kl) = chkl \sin kl - shkl \cos kl;$$

$$E(kl) = 1 + chkl \cos kl.$$

Відносно значення деформації поверхневих шарів матеріалу балки

визначається за наступним рівнянням

$$\varepsilon(x) = \pm \frac{h}{2} * \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2},$$

або враховуючи рівняння

$$\varepsilon(x) = \pm \frac{FmhR^2[T(kl)S(kx) - S(kl)T(kx)]}{2EIK^3E(kl) - M\Omega^2B(kl)},$$

Де «-» – деформації стиску, а «+» відповідає деформації розтягу.

Отримуємо амплітудно-частотну характеристика (АЧХ) системи з наступної формули

$$K(\Omega) = \frac{|\varepsilon_{cp}|}{F_m};$$

де ε_{cp} – на ділянці розміщення тензорезисторів це середня відносна деформація балки. Вона шукається наступним чином

$$\varepsilon_{cp} = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} \varepsilon(x) dx = \pm \frac{h}{2(x_2 - x_1)} \left[\frac{\partial y(x)}{\partial x} \right]_{x_1}^{x_2},$$

Після проведення спрощення і перетворення отримаємо наступну формулу

$$\varepsilon_{cp} = \pm \frac{FmhR[T(kl)T(kx) - S(kl)V(kx)] \frac{x^2}{x^1}}{(x_2 - x_1)[2EIK^3E(kl) - M\Omega^2B(kl)]},$$

АЧХ пружної системи буде дорівнювати

$$K(\Omega) = \frac{hR[T(kl)T(kx) - S(kl)U(kx)]_{x_1}^{x_2}}{[2EIK^3E9kl - M\Omega^2B(kl)](x_2 - x_1)}$$

Значення власних частот коливань системи можуть бути знайдені із трансцендентного рівняння [11]

$$2EIK^3E(kl) - M\Omega^2B(kl) = 0,$$

а приблизне значення основної частоти коливань знайдене по методу Релея-Рипца буде рівнятись

$$\Omega_0 = \sqrt{\frac{6EI}{\left(M + \frac{33}{35}M_6\right)l^3}},$$

де E-модуль пружності матеріалу, $E=0.7 \cdot 10^{11}$ Па;

M_6 -маса однієї балки пружного елемента;

I-момент інерції пружного елемента;

l -довжина рами пружного елемента;

M- значення сумарної маси частини пружного елемента яка піддалась деформації.

Значення моменту імпульсу необхідно визначити за формулою пружного елемента

$$I = \frac{a}{12} * (a^3 - d^3),$$

де d-діаметр найбільшого отвору в пружному елементі.

a- в пружному елементі це сторона квадрату перерізу;

Після розрахунку датчику параметри приймають такі значення:

$$M_6=0,4 \text{ кг}; \quad l=0,2 \text{ м};$$

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$M=0,16 \text{ кг}; \quad a=0,02 \text{ м};$$

$$d=0,0093 \text{ м.} \quad \gamma=0.112$$

1.4.5 Розрахунок частотних характеристик

Знайдемо АЧХ пружного елемента із урахуванням знайденого значення коефіцієнта демпфірування. Спираючись на математичну точку зору рух коливальної системи що описується Диференціальним рівнянням другого порядку

$$m * \frac{d^2 y}{dt^2} + k * \frac{dy}{dt} + c * y = F, \quad (1.19)$$

Поділивши ліву і праву частину виразу (1.19) на m та провівши заміну, ми отримаємо наступний вираз

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2 * \gamma * \Omega_0 * \frac{dy}{dt} + \Omega_0^2 * y = \frac{F}{m}, \quad (1.20)$$

Застосуємо формули для перетворення Лапласа

$$p^2 Y(p) + 2 * \gamma * \Omega_0 * p * Y(p) + \Omega_0^2 Y(p) = X(p), \quad (1.21)$$

$$Y(p) * [p^2 * \gamma * \Omega_0 * p + \Omega_0^2] = X(p),$$

Далі

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{1}{p^2 2\gamma * \Omega_0 * p * \Omega_0^2}, \quad (1.22)$$

Підставивши у вираз (1.22) $j\Omega$ замість p отримаємо наступну формулу

$$\begin{aligned}
 W(j\Omega) &= \frac{1}{-\Omega^2 + 2\gamma * \Omega_0 * j\Omega + \Omega_0^2} = \frac{1}{(\Omega_0^2 - \Omega^2) + 2\gamma * \Omega_0 * j\Omega} = \\
 &= \frac{(\Omega_0^2 - \Omega^2) - j * 2\gamma * \Omega_0 * \Omega}{[(\Omega_0^2 - \Omega^2) + j * 2\gamma * \Omega_0 * \Omega][(\Omega_0^2 - \Omega^2) - j * 2\gamma * \Omega_0 * \Omega]} = \\
 &= \frac{(\Omega_0^2 - \Omega^2) - j * 2\gamma * \Omega_0 * \Omega}{(\Omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (2\gamma * \Omega_0 * \Omega)^2},
 \end{aligned}$$

$$W(j\Omega) = U(\Omega) + jV(\Omega), \quad (1.23)$$

де $V(\Omega)$ -умовна частина.

$U(\Omega)$ -речова частина;

$$U(\Omega) = \frac{\Omega_0^2 - \Omega^2}{(\Omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (2\gamma * \Omega_0 * \Omega)^2},$$

$$V(\Omega) = -j * \frac{2\gamma * \Omega_0 * \Omega}{(\Omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (2\gamma * \Omega_0 * \Omega)^2},$$

Тоді амплітудно-частотна характеристика прийме наступний вигляд

$$A(\Omega) = \sqrt{\frac{1}{(\Omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4 * \gamma^2 + \Omega_0^2 + \Omega^2}}, \quad (1.24)$$

А Фазо-частотна характеристика(ФЧХ) буде мати такий вигляд

$$\psi(\Omega) = \arctg \frac{V(\Omega)}{U(\Omega)} = -\arctg \frac{2\gamma * \Omega_0 * \Omega}{\Omega_0^2 - \Omega^2}, \quad (1.25)$$

Перехідна характеристика матиме вигляд

$$U(t) = 1 - e^{-\gamma\Omega_0 t} \left(\cos\sqrt{1 - \gamma^2}\Omega_0 t + \frac{\gamma}{\sqrt{1 - \gamma^2}} \sin\sqrt{1 - \gamma^2}\Omega_0 t \right), \quad (1.26)$$

Для датчику параметри приймуть такі числа:

$$M=0,16 \text{ кг}; \quad a=0,02 \text{ м};$$

$$d=0,0093 \text{ м}. \quad \gamma=0.112$$

$$M_6=0,4 \text{ кг}; \quad l=0,2 \text{ м};$$

Для перехідної характеристики час t буде мінятись від 0 до 1000 а частота Ω буде мінятись в діапазоні чисел від 0 до 5000.

1.4.6 Розрахунок електричної схеми тензодатчика

Тензорезисторний датчик переводить механічне зусилля в пружному елементі в електричний сигнал.

В тензорезисторному датчику можна виділити три головні ступені перетворення:

1. прикладена сила P до пружного елементу, змінюється в поле механічного напруження G .
2. Тензорезистори перетворюють сукупність деформацій в сукупність опору ΔR .
3. Зміна значення опору тензорезистора ΔR переходить в зміну коефіцієнта передачі по напрузі ΔK , однакове значення по відношенню до зміни напруги вихідного сигналу $U_{\text{вих}}$ і значення до сигналу живлення $U_{\text{жив}}$.

Для перетворення переміни значення опору в переміну коефіцієнта передачі застосовуємо мостову схему включення для включення тензорезисторів. Якщо значення опору лівої і правої частини мосту однакові, то сигнал на виході мосту відсутній міст можна вважати урівноваженим.

Схема мосту представлена на рис.1.8.

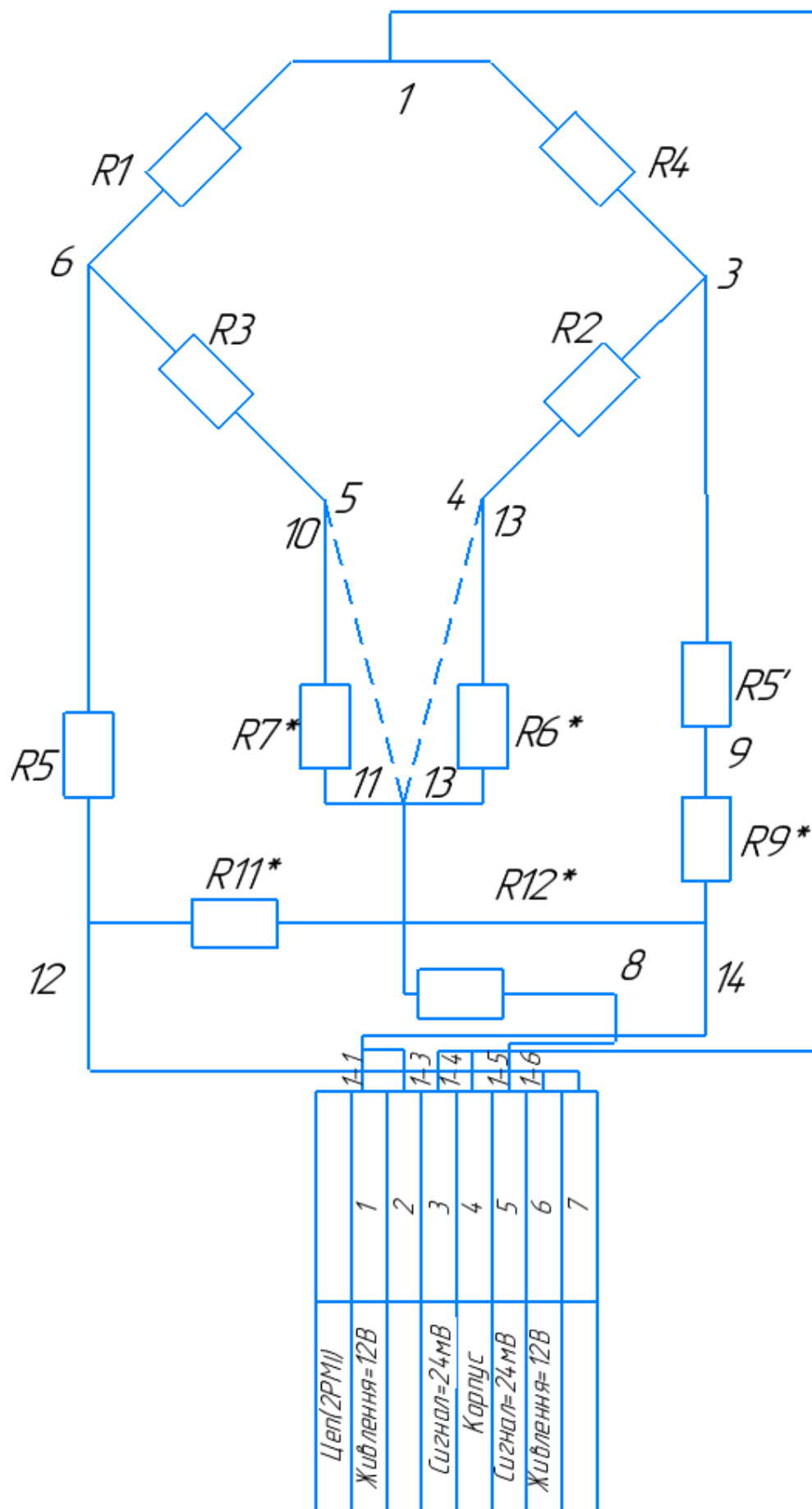


Рисунок 1.8 - Електрична схема силовимірювального датчику

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Для того щоб провести розрахунки схеми приймемо такі позначення:

R_b - вихідний опір для узгодження із вторинною апаратурою

R_r -резистор регулювання вихідного сигналу при номінальному зусиллі.

R_{t2} -резистор компенсації температурних змін вихідного сигналу коли на датчик подається якесь навантаження.

R_{t1} -резистор компенсації температурних змін вихідного сигналу датчика коли на нього не подається навантаження.

$R_{ш}$ -резистор регулювання вихідного сигналу.

R_{tb} -резистор регулювання вихідного опору.

$R_{r'}$ -резистор регулювання РКП.

R_6 -резистор регулювання вихідного сигналу навантаженого датчика.

Проведемо розрахунок значення зміни опору. Показник коефіцієнту передачі в мостовій ланці тензодатчика за напруженням рівний

$$K = \left[\frac{1}{4} \left(\sum_{i=1}^u (-1)^{i+1} \frac{\delta_{ki}}{R_0} \pm \frac{R_b}{R_0} \pm \frac{R_{ti}}{R_0} \right) + \frac{1}{4} \left(\sum_{i=1}^u (-1)^{t+1} \frac{\Delta R_i}{R_0} \right) \right] * \left(1 - \frac{R_u + R_{t2}}{R_0} \right), \quad (1.27)$$

де $\Delta R_i = R_i \epsilon_i S_i$ - значення точного приросту опору R_i плеч моста, що викликані деформацією ϵ_i ;

R_0 -номінальне значення опору плеч мосту.

δ_{ki} - відхилення опору плечей від номінального значення;

Рівняння (1.16) розкладемо на чотири доданки, що мають різний фізичний сенс [11].

Номінальний н коефіцієнт передачі (НКП) при стандартних умовах k_0 . Його зміни значень температури Δt . Робочий коефіцієнт передач (РКП) якщо працює в нормальних умовах Δk і значення його температурних змін $\Delta t[\Delta k]$

$$k = k_0 + \Delta t[k_0] + \Delta k + \Delta t[\Delta k], \quad (1.28)$$

$$k_0 = \frac{1}{4} \left[\sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} \frac{\sigma_{ki}}{R_0} \pm \frac{R_{\sigma}}{R_0} \pm \frac{R_{ti}}{R_0} \right] * \left(1 - \frac{R_u + R_{t2}}{R_0} \right), \quad (1.29)$$

$$\Delta t[k_0] = \frac{1}{4} \left[\sum_{i=1}^4 (-1)^{t+1} \beta_i \pm \frac{R_{0ti}}{R_0} \beta_{ti} \right] * \left(1 - \frac{R_u + R_{t2}}{R_0} \right), \quad (1.30)$$

$$\Delta k = \Delta k_M \left(1 - \frac{R_u + R_{t2}}{R_0} \right), \quad (1.31)$$

$$\Delta t[\Delta k] = \Delta k \left(\alpha - \frac{R_{0t2}}{R_0 - R_u - R_{0t2}} \beta_{t2} \right) \Delta t, \quad (1.32)$$

де Δt - це, при нормальних умовах, відхилення фактичної температури тензодатчика;

а- це для пружного елементу, нормальне температурне значення коефіцієнту модуля Юнга для пружних елементів згину і стиску її модуля зсуву.

$$\Delta k_M = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} p_i \varepsilon_i, \quad (1.33)$$

Припускаючи те, що значення температурного коефіцієнт опору (ТКО) резисторів R_4 і R_6 є меншим порівняно з ТКО резисторів R_{t1} і R_{t2} , створених на основі міді.

Вихідний опір $R_{\text{вих}}$ і вхідний опір мостової ланки тензодатчика $R_{\text{вх}}$ рівні

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{ш}}[R_0 \pm \sigma R_i + n R_0]}{R_{\text{ш}} + R_0 \pm \sigma R_i + n R_0}, \quad (1.34)$$

$$R_{\text{вих}} = R_0 \pm \delta R_i + R_b, \quad (1.35)$$

Технічними стандартами на тензодатчик становлять всі доданки вхідного і вихідних значень опорів.

$$|\Delta k[R]_{\text{н}} - \Delta_{\text{н}} R[R_{\text{н}}]| \leq \delta |\Delta k[R_{\text{н}}]|, \quad (1.36)$$

$$\frac{\Delta t k_0}{\Delta t} \leq \delta + 1, \quad (1.37)$$

$$\frac{\Delta t [\Delta k(P_{\text{н}})]}{\Delta k[P_{\text{н}}] \Delta t} \leq \delta_{t2}, \quad (1.38)$$

$$|R_{\text{вх}} - R_{\text{нвих}}| \leq \delta R_{\text{вх}}, \quad (1.39)$$

$$|R_{\text{вих}} - R_{\text{нвих}}| \leq \delta R_{\text{вих}}, \quad (1.40)$$

де δ - відповідає допустимому значенню нормуючого параметру, а індекс «н» означає нормальне число значення визначеної величини, яку інженер-конструктор може змінити у відносно вузьких межах.

Знайдемо значення величини кожного з регульованих елементів $R_{\delta}, R_{0t2}, R_b, R_{\text{ш}}$, для того щоб задовільнити нерівності при довільному значенні заданих величин в їх полі допуску [11].

Розв'язуючи систему (1.36-1.40) спираючись на викладені вимоги і зважаючи, що коливальне значення елементу який регулюється повинне бути рівне максимально можливому його значенню, яке може бути використаним для задовільнення нормуючих умов (1.36-1.40) отримуємо після спрощення

$$R_{\delta}^{\text{н}} = \left[4 * \frac{\delta \beta_i}{\beta + 1} + 4 * \frac{\delta R_{i\text{max}}}{R_0} \right] R_0, \quad (1.41)$$

$$R_{\text{с}}^{\text{H}} = \left[4 * \frac{2 * 10^{-6}}{4,2 * 10^{-3}} + 4 * \frac{8}{400} \right] * 400 = 32,8 \text{ (Ом)},$$

$$R_{0t}^{\text{H}} = 4 \frac{6\beta_{imax}}{\beta_{ti}} R_0, \quad (1.42)$$

$$R_{0t}^{\text{H}} = 4 * \frac{2 * 10^{-6}}{4,2 * 10^{-3}} * 400 = 0,76 \text{ (Ом)},$$

$$R_{0t2}^{\text{H}} = \frac{a}{\beta_{t2}} R_0, \quad (1.43)$$

$$R_{0t2}^{\text{H}} = \frac{2 * 10^{-4}}{6,5 * 10^{-3}} * 400 = 12,7 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{ш}}^{\text{H}} = \frac{R_0^2}{R_0 - R_{\text{вх}}^{\text{H}}} = \frac{400^2}{400 - 380} = 8 \text{ (Ом)}, \quad (1.44)$$

$$R_{\text{ш}}^{\text{H}} = R_{\text{вих}}^{\text{H}} - R_0 + 6R_{imax} = 400 - 400 + 4 = 4 \text{ (Ом)}, \quad (1.45)$$

Для забезпечення запасів по діапазону регулювання параметрів тензодатчика потрібно збільшити номінальний показник значення опору регулюймих резисторів на 10-15% порівняно із наведеними.

Згідно ГОСТ 15077-78 обираємо значення опорів (табл.1.3)

$$R_{\text{вх}} = 380 \pm 2 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{вих}} = 400 \pm 4 \text{ Ом};$$

Таблиця 1.3-Значення використовуваних коефіцієнтів

S _{чутл.}	R ₀	6R _{imax}	6β _{imax}	β _{ti} (CU)	β _{t2} (NI)
2,0	400 Ом	4 Ом	$2 * 10^{-6} \frac{1}{c}^{\circ}$	$4,2 * 10^{-3} \frac{1}{c^{\circ}}$	$6,2 * 10^{-3} \frac{1}{c^{\circ}}$

$$\Delta HK[P_H] = 2 * 10^{-3};$$

$$G[\Delta HK(P_H)] = 0,2\%;$$

$$\delta_{t2} = 0,01\% \frac{1}{^\circ\text{C}} - \text{зміна чутливості при номінальному зусиллі.}$$

$$\delta_{t1} = 0,02\% \frac{1}{^\circ\text{C}} - \text{значення початкового сигналу датчика;}$$

$$\delta k_0 = 4 * 10^{-5} - \text{зміна показника сигналу холодного датчика;}$$

$$R_{\text{ВХ}}^{\text{Н}} = 380 \text{ Ом};$$

$$\delta R_{\text{ВХ}} = 2 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ВИХ}}^{\text{Н}} = 400 \text{ Ом.}$$

За технічної умови величини опору повинні бути в таких межах: $R_1 \div R_{4'}$, $180 \div 196 \text{ Ом}$. Обираємо $R_1 \div R_{4'} = 180 \text{ Ом}$.

Визначаємо величини необхідних опорів для кожного з резисторів при раніше розрахованих:

$$R_{t2} = 12,7 \text{ Ом};$$

$$R_{t1} = 0,75 \text{ Ом};$$

$$R_6^{\text{Н}} = 32,8 \text{ Ом.}$$

За умови рівноваги ланки

$$(R_1 + R_{1'} + R_{ti})(R_6 + R_4 + R_{4'}) = (R_2 + R_{2'} + R_6)(R_{ti} + R_3 + R_{3'}),$$

$$\text{прийmemo: } R_1 + R_{1'} + R_{ti} = R_1,$$

$$R_6 + R_4 + R_{4'} = R_{4'},$$

$$R_6 + R_4 + R_{4'} = R_2,$$

$$R_{ti} + R_3 + R_{3'} = R_3,$$

$$R_1 = 180 + 180 + 0,76 = 360,76 \text{ (Ом)},$$

$$R_2 = 180 + 180 = 360 \text{ (Ом)},$$

$$R_3 = 180 + 180 + 32,8 = 392,8 \text{ (Ом)},$$

$$R_4 = 180 + 180 = 360 \text{ (Ом)},$$

В наступному ми розглядаємо найбільш неприємний з точки зору

статистики випадок, а саме, коли на кожному мосту плеча знаходиться по одному тензорезистору: із-за відсутності середніх випадкових розкидів характеристик тензорезисторів, значення що необхідні для найбільш відносних номіналів регулюймих резисторів для закривання існуючого поля допусків.

Всі нелінійні ефекти в наступних викладках не враховуються, оскільки визначаються номінальні значення регулюймих елементів, а точність компенсації не враховується.

За допомогою алгебраїчних перетворення є припустимими спрощення що приводять до певного збільшення номінальних показників, тобто створення певного запасу на шкалі діапазону регулювання.

До системи нерівностей (1.25-1.29) входять значення b_{k0} ; $b[\Delta k(Ru)]$, b_{t1} ; b_{t2} і інші значення які задаються конструктору тензорезистори. Значення таких величин: b , a , β_{t1} , β_{t2} .

Визначимо значення величини кожного підключеного опору

$$R_1 + R_2 = 360,76 + 360 = 720,76 \text{ (Ом)},$$

$$R_3 + R_4 = 392,8 + 360 = 752,8 \text{ (Ом)},$$

$$2R_r + 2R_{t2} + \frac{(R_1+R_2)+(R_3+R_4)}{(R_1+R_2)*(R_3+R_4)} = R_{вих},$$

$$R_{ш} = 0,$$

$$2R_r + 2 * 12,7 + 0,003 = 380,$$

$$R_r = 175,5 \text{ (Ом)},$$

розраховуємо вхідний струм датчика коли $U_{жив}=12V$.

$$R_{вих} = 380 \text{ (Ом)},$$

$$I_{вх} = \frac{12}{380} = 0,032 \text{ (А)}.$$

1.4.7 Аналіз точності тензодатчика

Чи не найголовнішою характеристик будь-якого приладу є точність. Необхідне значення точності тензодатчика витримується з допомогою процесів налаштування такими як: зміна показника точності при охолодженні чи нагріванні пружного елемента чи чутливого елемента, від вологості навколишнього середовища в якому працює тензодатчик і т.д.

Характеристикою точності є найбільш вірогідна похибка приладу в певних робочих умовах.

Головна похибка точності визначається як геометрична сума наступних складових

$$\delta = \sqrt{\varphi^2 + \sigma^2 + \gamma_r^2 + \gamma^2 + \beta^2 + \alpha^2},$$

де φ – систематична складова похибки;

σ – середнє квадратичне відхилення складової похибки;

γ_r – гістерезис;

γ – нелінійність;

β - зміна початкового коефіцієнта передачі (ПКП) датчика;

α – робочий коефіцієнт передачі.

Для визначення систематичної складової похибки (φ) на i -тому ступені навантаження використовують формулу

$$\varphi = \frac{0,5(k_{\text{пр}} + k_{\text{зв}}) - \frac{ik_{\text{ном}}}{n}}{k_{\text{ном}}} * 100,$$

де $k_{\text{пр}}, k_{\text{зв}}$ - середнє значення на i -тому ступені робочого коефіцієнту передачі (РКП) навантаженні в зворотній і прямій послідовності нагрівання;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

$k_{\text{ном}}$ - значення номінального РКП при певному навантаженні.

i - номер послідовної ступені навантаження;

При визначенні середнього показника квадратичного відхилення випадкової складової похибки РКП використовують наступну формулу

$$\sigma = \frac{1}{k_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^m (k_l - k_{\text{пр}})^2 + \sum_{l=1}^m (k_{\text{звл}} - k_{\text{зв}})^2}{2n - 1}} * 100,$$

Де $k_l, k_{\text{звл}}$ - на i -тому ступені нагрівання значення РКП в зворотній і прямій послідовності;

m - кількість циклів навантаження;

l -порядковий номер циклу навантаження;

Гістерезис це (γ_r) навантаження у відсотках від номінального значення РКП на i -тому ступені визначають за формулою

$$\gamma_r = \frac{|k_{\text{зв}} - k_{\text{пр}}|}{k_{\text{ном}}} * 100,$$

Нелінійність (γ) навантаження у відсотках від номінального значення РКП на i -тому ступені визначають за формулою

$$\gamma = \frac{k_{\text{пр}} - \frac{k * i}{n}}{k_{\text{ном}}} * 100,$$

де k - значення РКП при номінальному середньому навантаженні приладу.

Зміну значення нульового коефіцієнта передачі датчика (β) при зміні температури оточуючого середовища на 10°C у відсотках від базового показника РКП визначають як

$$\beta = \frac{10(k_{0t} - k_0)}{\Delta t k_{\text{ном}}} * 100,$$

Де Δt -різниця макс., мін. і нормальної температури в камері;

k_0 -середнє значення НКП при нормальній температурі.

k_{0t} -середнє значення НКП при максимальній (мінімальній) температурі;

Переміна значення РКП датчика (α) при зміні навколишньої температури середовища на кожні 10°C у відсотках від базового показника РКП визначають за наступною формулою

$$\alpha = \frac{10(k_{tt} - k)}{\Delta t k_{\text{ном}}} * 100,$$

де k_{tt} -середнє значення РКП при базовому навантаженні і мінімальній (максимальній) температурі приміщення або середовища.

Через те що в Україні відсутні технології налаштування точності визначення показників тензодатчиків, то значення даних характеристик взяті із довідників, що написані на основі експериментальних дослідів [11].

При геометричному додаванні підібраних складників отримуємо значення основної похибки зконструйованого тензодатчика

$$\delta = \sqrt{0,3^2 + 0,01^2 + 0,2^2 + 0,2^2 + 0,05^2 + 0,05^2} = 0,42\%.$$

1.4.8 Система захисту тензодатчика

На рис.1.9 зображено систему захисту тензодатчика від навантажень значення яких перевищують максимально допустимі для тензодатчика.

Система захисту складається з тензодатчика 1, гусаків що кріпляться між собою за допомогою гвинта і гайки 2 і блоку-виступи 3.

Тензодатчик 1 кріпиться в системі за рахунок симетричних гусаків 2 що

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

будуть зберігати центр рівноваги датчика. Гусаки будуть кріпитись до деталей розривної машини.

При роботі з навантаження більшим за максимально допустиме для тензодатчику або механічного навантаження датчик буде деформуватись і впирається в блоки 3 висота яких буде задаватись відповідно до максимальної відстані деформації яку здатний подолати тензодатчик перед початком процесу руйнування. Оскільки блоки 3 кріпляться до гусаків 2 то гусаки будуть зроблені із таким розрахунком щоб вони самі не деформувались що і дозволить самій системі працювати.

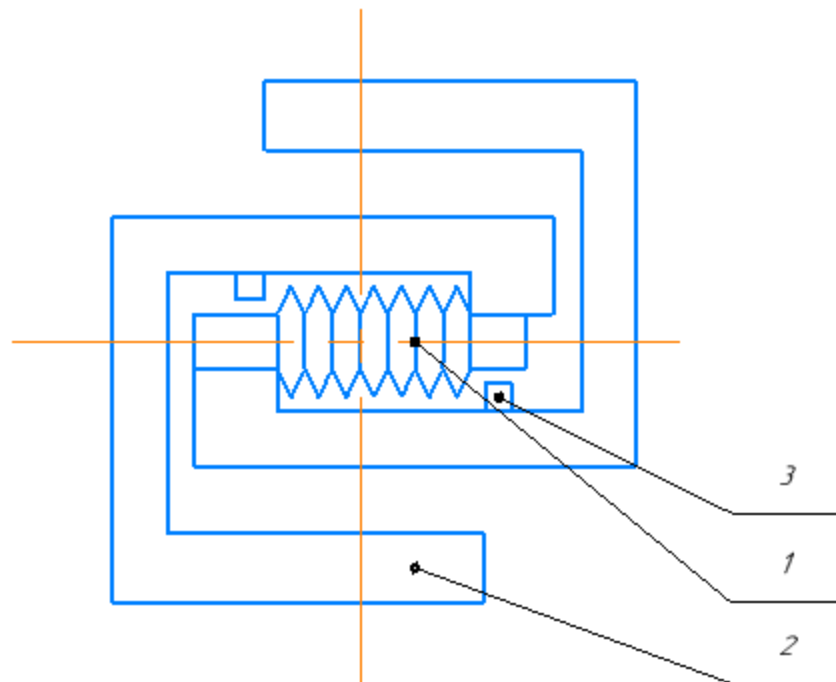


Рисунок 1.9 - Система захисту тензодатчика

На рис.1.10 зображено схему системи захисту за якою буде проведено розрахунок товщини матеріалу необхідного щоб система мала й запас міцності в 3.3 рази порівняно з максимальним навантаженням розривної машини.

В якості матеріалу для захисту обрано Сталь 30.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

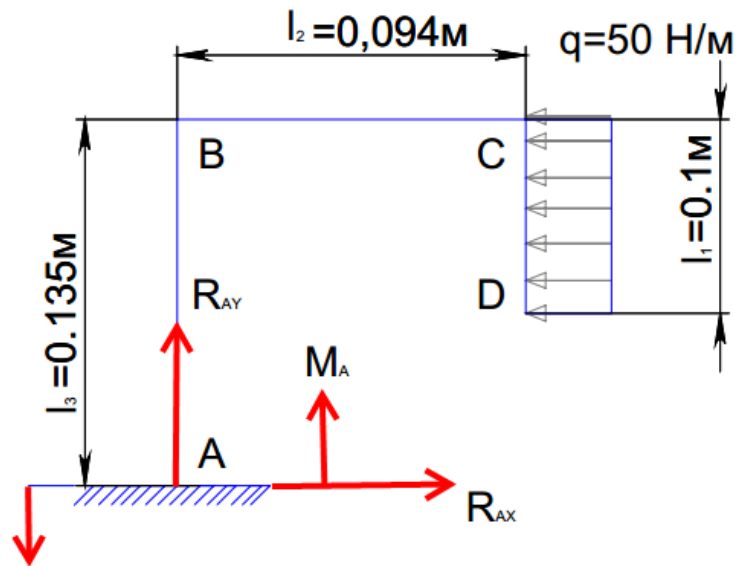


Рисунок 1.10 – схема системи захисту для розрахунку

Визначимо реакції виникаючі в закладенні:

$$\sum X = 0; R_{AX} - ql_1 = 0; R_{AX} = 5 \text{ H};$$

$$\sum Y = 0; R_{AY} = 0;$$

$$\sum M_x = 0; M_A + ql_1 \left(l_3 - \frac{l_1}{2} \right) = 0; M_A = 0.425 \text{ H};$$

Для побудови епюр внутрішніх силових факторів розглянемо три довільних розрізи на проміжках АВ, ВС і CD (рис.1.11).[12]

На проміжку АВ ($0 \leq z_1 \leq l_3$) (рис.1.11)

$$\sum X = 0; Q_1 + R_{AX} = 0; R_{AX} = -5 \text{ H};$$

$$\sum Y = 0; N_1 + R_{AY} = 0; N_1 = 0;$$

$$\sum M_x = 0; M_1 + M_A + R_{AX}z_1 = 0;$$

$$M_1 = -M_A - R_{AX}z_1 = \begin{cases} z_1 = 0; M_1 = -0.425 - 0 = -0.425 \text{ Hм}; \\ z_1 = l_3; M_1 = -0.425 - 0.85 = -1.275 \text{ Hм}; \end{cases};$$

На проміжку ВС ($0 \leq z_2 \leq l_2$) (рис.1.11):

$$\sum X = 0; N_2 + R_{AX} = 0; N_2 = -5 H;$$

$$\sum Y = 0; -Q_2 + R_{AY} = 0; Q_2 = 0;$$

$$\sum M_x = 0; M_2 - R_{AX}z_2 + M_A + R_{AX}l_3 = 0;$$

$$M_2 = R_{AY}z_2 - M_A - R_{AX}l_3 = 0 - 0.425 - 0.85 = -1.275 Hм.$$

На проміжку CD ($0 \leq z_3 \leq l_1$) (рис.1.11)

$$\sum X = 0; Q_3 + 2qz_3 - R_{AX} = 0;$$

$$Q_3 = \begin{cases} z_3 = 0; Q_3 = 0 + 5 = 5H; \\ z_3 = l_1; Q_3 = -5 + 5 = 0H. \end{cases}$$

$$\sum Y = 0; N_3 - R_{AY} = 0; N_3 = 0;$$

$$\sum M_x = 0; M_3 - R_{AY}l_2 + M_A + R_{AX}(l_3 - z_3) - 2qz_3 \frac{z_3}{2} = 0;$$

$$M_3 = \begin{cases} z_1 = 0; M_3 = 0 - 0.425 - 0.85 = -1.275 Hм; \\ z_1 = l_1; M_3 = 0 - 0.425 - 0.425 = 0.85 Hм. \end{cases}$$

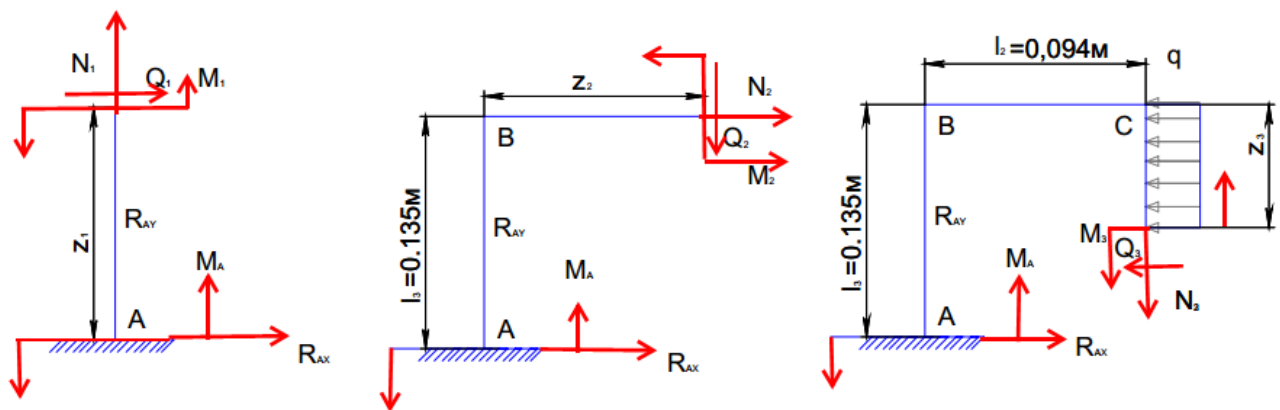


Рисунок 1.11 – Довільні розрізи схеми

За отриманими даними будуюмо епюри поздовжньої, перерізуючої сили і згинального моменту рис.1.12.[13]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

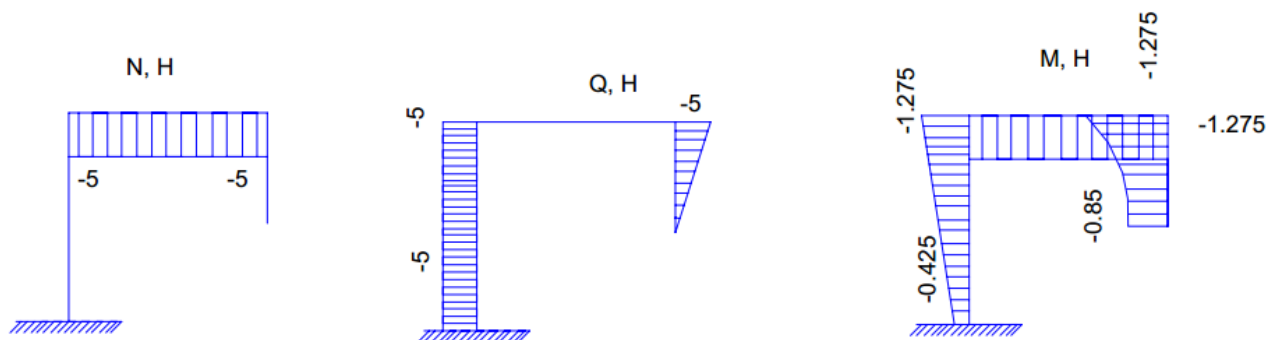


Рисунок 1.12 - Епюри

За епюрою згинальних моментів(рис.1.12) видно що небезпечним буде розріз в точці С, для якої згинальний момент дорівнює 1,275 Нм.

Оскільки матеріалом для рами служить Сталь 30, то допустимі напруження дорівнюють:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{макс}}}{n} = \frac{845,7}{2} = 423 \text{ МПа},$$

де n – коефіцієнт запасу[14]

Умова міцності:

$$\sigma = \frac{M}{W_z} \leq [\sigma],$$

Де W_z осьовий момент для опору для квадратного перерізу

$$W_z = \frac{b^3}{6}$$

Сторона квадрату b визначається за формулою:

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{6M}{[\sigma]}}$$

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{6 * 1.275}{423 * 10^6}} = 0,0026\text{м} = 2,6\text{мм}$$

Приймаємо величину b ближчу, кратну 5:

b=5мм.[15]

Для того щоб можливо було використовувати гвинти для кріплення захисту до тензодатчику збільшуємо ширину до 20мм а висоту лишаємо 5мм.

Проведемо моделювання досягнутих значень рис.1.13 в Solidworks Simullink:

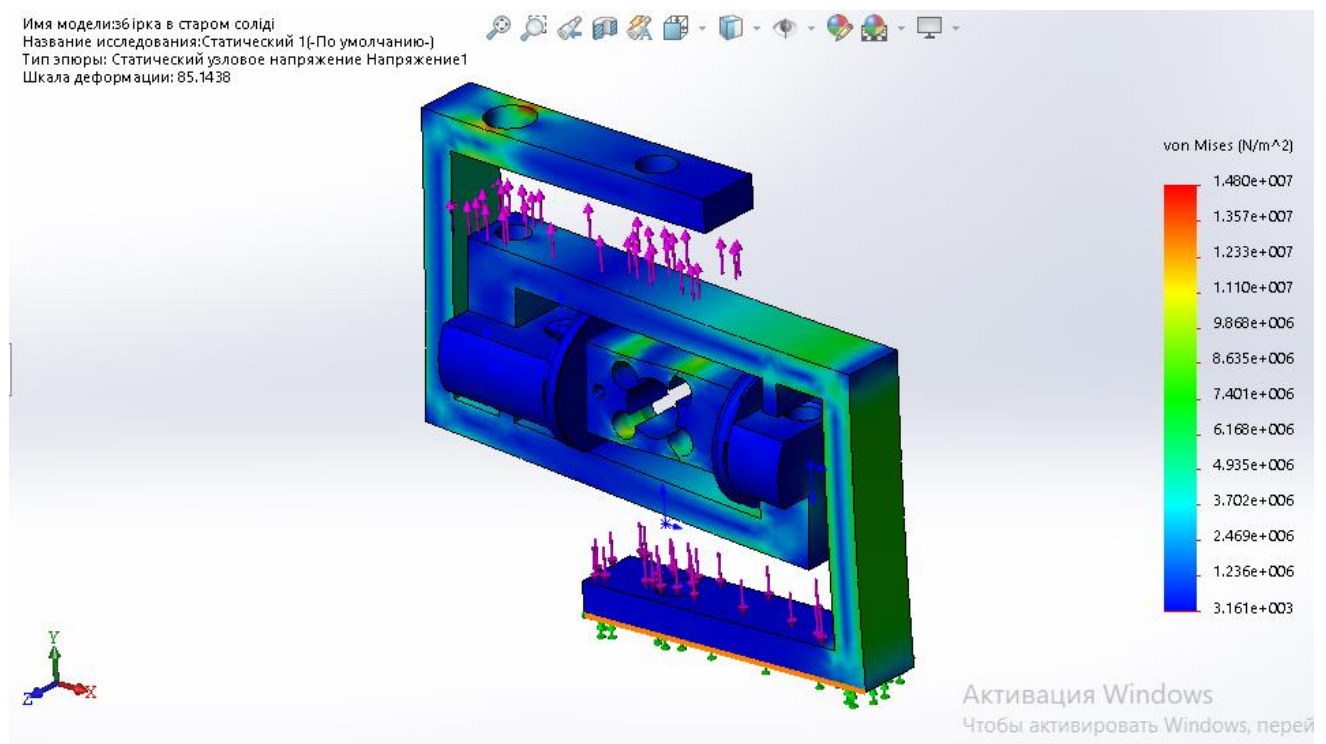


Рисунок 1.13 – Статичне напруження

За результатом моделювання створена система захисту дозволяє витримувати напруження в 30Н і зберігати тензодатчик в працездатності.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

2.РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “СИСТЕМА ЗАХИСТУ ТЕНЗОДАТЧИКА ”

2.1. Опис ідеї проекту

Тема магістерської дисертації “Розривна машина”.

На сьогоднішній день тензодатчики набули широку популярність серед різних сфер діяльності. Різна форма та принцип роботи дозволяють використовувати їх як при визначенні невеликих навантажень так і в промислових масштабах.

Тензодатчики є найбільш уразливими компонентами ваговимірювальних систем. В процесі експлуатації на вагові датчики впливають агресивні середовища, ударні динамічні навантаження, вібрації, електростатичні навантаження і т.д.

Для збереження цілісності тензодатчика при використанні їх в розривних машинах було розроблено спеціальну систему захисту що дозволить зберегти тензодатчик від надмірних навантажень.

1) Цілісне уявлення про зміст ідеї та базові потенційні ринки представлено у вигляді таблиці (табл. 2.1), завдяки, якій можна визначити групи потенційних клієнтів.

Таблиця 2.1.Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Система захисту тензодатчика при роботі на розривних машинах	Дослідження матеріалу на міцність	Зменшення відмов інструмента на підприємстві, підвищення терміну експлуатації тензодатчиків

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Визначено головну ідею магістерської дисертації, її використання та техніко- економічні характеристики. Дана ідея може мати широке призначення та багатьох користувачів.

2) Головну інформацію ідеї наведено в табл.2.2, що надає загальний опис стартап проекту.

Таблиця 2.2.Інформаційна карта проекту

1	2
1. Назва проекту	Система захисту тензодатчика
2. Автори проекту	Моцьор М.М.
3. Коротка анотація (не більше 1/3 сторінки)	<p><i>Об'єктом проектування є розробка системи захисту для окремо взятого тензодатчика.</i></p> <p><i>Мета проектування:</i> конструювання пристосування для забезпечення цілостності тензодатчика при надмірних навантаженнях.</p> <p>Дані захисту визначаються від максимальних навантажень які буде давати розривна машина.</p> <p>Проект складається зі вступу, розділів «технологічна частина», «конструкторська частина», «графічна частина», висновків та рекомендацій, списку бібліографічних джерел та додаткових матеріалів (додатків).</p> <p>Результати розробки можуть бути впроваджені на торгових підприємствах.</p>
4. Термін реалізації проекту	< 4 місяці
	<i>Тривалість проекту (в місяцях)</i>

Продовження таблиці 2.2

1	2
5. Необхідні ресурси	<p>Розривна машина РМ30 -1, готові стандартні вироби (типу гвинтів, болтів, шайб, гайок). Затрати на виготовлення пристрою <500грн. Вартість пристрою ~ 1500-2000грн. Права інтелектуальної власності захищені патентом.</p> <p><i>Перелік усіх необхідних ресурсів (фінансових, матеріальних інтелектуальній та ін.)</i></p>
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	<p>Система захисту для тензодатчиків дозволяє вирішити проблему механічних руйнувань тензодатчиків при їх необережному застосуванні.</p> <p>Пристосування має широке застосування оскільки проблема забезпечення захисту тензодатчиків актуальною сьогодні на малих виробництвах та цехах, а також в дослідницьких лабораторіях.</p>
8. Головні цілі та завдання проекту	<p>Проектування та реалізація системи захисту для тензодатчика. Донесення інформації про робочу конструкцію пристрою до представника із заводу та викладачів.</p>
<p>9. Очікувані результати</p> <p><i>(Описати позитивні зміни, які відбудуться в результаті реалізації проекту після його завершення та в довгостроковій перспективі)</i></p> <p>Спроектована система захисту для тензодатчика є економічно вигідним, тому що дозволяє забезпечувати довший час роботи тензодатчика. Тому використання захисту може зекономити значну кількість коштів на великих підприємствах.</p>	

Для того, щоб провести аналіз на техніко-економічні переваги даної ідеї потрібно визначити коло конкурентів або товарів-замінників, що існують на ринку, та провести систематизацію інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї нашого проекту та проектів конкурентів відповідно до наведеного вище переліку. В результаті порівняння проводиться визначення показників що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

1	2	3	4	5	6
№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Особливості	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	Економічні	Низьковартісне обслуговування та ремонт			x
		Вартість витратних матеріалів			x
		Вартість експлуатації			x
2	Надійності	Строк безвідмовного функціонування			x
		Гарантійний термін			x
		Ремонтопридатність	x		
3	Технологічні	Довготривалість виготовлення			x
		Оптимізація витрат			x

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

77

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
		Трудомісткість виготовлення			х
4	Призначення (технічні)	Наявність датчиків контролю		х	
		Широкий діапазон використання	х		
		Мала похибка вимірювання			х
5	Ергономічність	Відповідність виробу сприйняття інформації користувачем			х
		Зручність користування системою		х	
6	Естетичні	Інформаційна виразність		х	
		Досконалість виробничого дослідження		х	
7	Транспор- табельнос- ті	Трудомісткість підготовки одиниці продукції до перевезень			х

За допомогою таблиці (табл.2.3) знайдено всі переваги, недоліки проекту та з'ясовано, що проект має багато сильних сторін, а саме низьку вартість експлуатації, великий термін безвідмовного функціонування і т.д.

2.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Знаходження технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових, які подані у таблиці 2.4:

Таблиця 2.4. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Конструкція системи захисту	Сталь 20Л	наявна	доступно
2	Використання надміцних матеріалів	титан	наявна	доступно
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Сталь 20Л				

Обрана технологія найбільш часто використовується на підприємствах. Застосувати, запропоновану технологію можна, для цього достатньо технічних засобів і матеріальних коштів.

2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

1) Дослідження аналізу наявності попиту, обсягу та динаміки ринку (табл. 2.5) дозволяють визначити ринкові можливості, що можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, що можуть перешкодити реалізації проекту.

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Таблиця 2.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	<u>Зростає</u>
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність ліцензій та сертифікатів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ГОСТ 9.401-2018 Единая система защиты от коррозии и старения
		ГОСТ 26568-85* Вибрация. Методы и средства защиты.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25%

Визначено, що характеристика даного стартап – проекту дозволяє увійти на потенційний ринок застосовуючи зростання динаміки ринку та незначних обмежень для входу. Головною складністю є отримання ліцензій та сертифікатів.

2) Подальше визначення потенційних груп клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 2.6).

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Таблиця 2.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Перевірка матеріалів	- наукові інститути, заводи, які виготовляють або використовують текстильну промисловість, <u>Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України</u> ;	ГОСТ 2.601–95.ЕСКД.Эксплуатационные документы, РД 50–660–88. Инструкция, ГСИ. Документы на методики поверки средств измерения, ГОСТ 8.010–90. Методики выполнения измерений;	- надійність; - належна якість продукції та обслуговування; - доступну та достовірну інформацію про продукт, її якість, асортимент, а також про її виробника (виконавця); -точність; -програмне забезпечення при перевірці; -зручність; -швидкість діагностики.
2	Контроль зварних швів матеріалів			
3	Зручна діагностика у лабораторних умовах			
4	Універсальність системи та можливість її удосконалити.			

Головною цільовою аудиторією відповідно до вимог та потреб, що будуть формувати ринок, було обрано наукові інститути, та підприємства приладо- і машинобудівної галузі а також текстильні заводи.

3) Зроблено таблиці факторів, які перешкоджають ринковому впровадженню проекту (табл. 2.7.) для аналізу ринкового середовища.

Таблиця 2.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Виробництво	ступінь зносу запчастин	Співпраця з заводами для закупки якісних запчастин оптом
2	Конкуренція	Вихід на ринок багато конкурентоспроможних компаній	Проінформувати клієнтів про високу якість нашої продукції за меншу ціну
3	Репутація виробника	Нова компанія не викликає значної довіри	Зробити ставку на маркетинг, рекламу, співпрацю з значними науковими інститутами та отримання відгуків від них.
4	Організація процесу виробництва на підприємстві	Складність організації проекту на початкових стадіях.	Створення чіткого плану дій, передбачення всіх важливих питань, до того як випускати проект на ринок.

Головними факторами, що несуть перепони ринковому впровадженню проекту є: виробництво, конкуренція, репутація виробника та організація процесу виробництва на підприємстві.

Також знаходяться основні фактори, що сприяють ринковому впровадженні проекту (табл. 2.8).

Таблиця 2.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Попит	Велика кількість запитів на контроль матеріалів	Розширення та збільшення обладнання та працівників
2	Ціна	Низькі ціни приваблюють клієнтів	Не високі ціни на автоматизовану систему
3	Інновації	удосконалення обладнання та метод контролю матеріалів	Висококваліфіковані працівники та іноземна наукова література для здійснення удосконалення обладнання.
4	Маркетинг	Залучення все більше нових клієнтів	Реклама у інтернеті, відгуки, співпраця з різними інститутами та заводами для більшої популярності товару.

Головними факторами, які сприяють ринковому впровадженні проекту є: виробництво, попит, ціна, інновації та маркетинг.

4) Знайдено загальні риси конкуренції на ринку (табл. 2.9).

Таблиця 2.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

1	2	3
Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентно-спроможною)

Продовження таблиці 2.9

1	2	3
Тип конкуренції – <u>олігополія</u>	Олігополія характеризується невеликою кількістю фірм (від 2 до 10), обгороджених бар'єрами, які перешкоджають вступу в галузь нових фірм, мають контроль над цінами, але при змові з іншими олігополістами	Має не багато конкурентів, тому може контролювати ціни на ринку
2. За рівнем конкурентно ї боротьби <u>-локальний</u>	Може використовуватися, як на світовому на національному світовому ринку	Отримання сертифікації, відповідності не тільки держ. нормам і стандартам, а й міжнародним та технічної ліцензії
3. За галузевою ознакою <u>- міжгалузева</u>	Дослідження можна використовувати у різних галузях	Є можливість покращити її і використовувати у багатьох галузях
4. Конкуренція за видами товарів: <u>-між бажаннями</u>	Можлива конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати подібні функції і між товарами одного виду	Система може використовуватись в багатьох сферах

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Продовження таблиці 2.9

1	2	3
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Нецінова. Проводиться головним чином за допомогою вдосконалення якості продукції, технології виробництва, інновацій та нанотехнологій, патентування	Головною характеристикою є якість та ціна доступна для багатьох клієнтів
	Цінова. Для значної частки клієнтів ціна є визначальною при виборі.	
6. За інтенсивністю -не марочна	Роль торгової марки незначна, хоча самі марки можуть бути присутніми на ринку	Дана продукція не потребує марок, головними її пріоритетами є якість та технологічність

Аналіз ступеневої конкуренції на ринку показав, що дана особливість конкурентного середовища не має значних перспектив для конкурентної боротьби.

б) Застосовуючи аналіз конкуренції, і із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 2.3), вимог споживачів до товару (табл.2.6) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 2.7-2.8) визначено та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл.2.10.

Таблиця 2.10.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

1	2	3
№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)

Продовження таблиці 2.10

1	2	3
1	Ціна	Чим менша ціна, тим більший попит.
2	Постійні витрати на виробництво	Витрати на запчастини та на складові компоненти, які дуже швидко зношуються.
3	Попит	Розвиток галузі та виробництва, визначає попит на продукцію.
4	Інновації	Для того, щоб удосконалити продукцію необхідна велика база даних, патентів та винаходів.
5	Бар'єри проникнення	Тривалий час для отримання сертифікатів, ліцензії та патентну чистоту продукції.
6	Репутація виробника	Клієнтів привертає увага реклама, перед покупкою вони ознайомлюються з відгуками.
7	Рівень організації процесу виробництва на підприємстві	Чим краще організований виробничий процес, тим воно краще розвивається, має менше неточностей та браку виробництва.
8	Конкуренти	Вихід на ринок нових конкурентів, може суттєво вплинути на попит продукції.

Наведені значущі показники, що роблять фактори для порівняння конкурентоспроможності значущим, тим самим обґрунтовано фактори конкурентоспроможності.

7) За допомогою визначених факторів конкурентоспроможності (табл. 2.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 2.11).

Таблиця 2.11.Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспромо жності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з автоматизованою системою						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Ціна	18			•				
2	Попит	16			•				
3	Інновації	13			•				
4	Бар'єри проникнен ня	12				•			
5	Постійні витрати на виробництво	9				•			
6	Репутація виробни ка	8						•	
7	Рівень організації процесу виробництва	6					•		
8	Конкуренти	4				•			

Найбільший рейтинг балів у порівнянні з товарами-конкурентами здобули: ціна, попит та інновації, слабкими факторами виявилися: репутація виробника, рівень організації процесу виробництва та конкуренти.

8) Список ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі проведення аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові небезпеки та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення (табл.2.12).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

87

Таблиця 2.12.SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none"> • нижча ціна порівняно з конкурентами (2000грн у конкурентів 4350грн)(ціна); • має високий попит, так як галузь розвивається(попит); • за допомогою іноваційних матеріалів систему можна суттєво покращити в майбутньому(іновації); 	<ul style="list-style-type: none"> • нове підприємство на ринку викликає значні підозри без відгуків та рекомендацій (репутація виробника); • відсутність чіткої стратегії організації виробництва;
Можливості:	Загрози:
<ul style="list-style-type: none"> • попит (збільшення клієнтів через великий попит) ; • ціна (зробити акцент на низьку ціну та якість продукції (меншу ніж у прямого конкурента)); • Інновації (удосконалення обладнання та метод дослідження). 	<ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (високий ступінь зносу запчастин); • Конкуренція (поява нових конкурентів на українському ринку); • Репутація виробника (початковий проект дуже важко правильно організувати).

За допомогою знаходження можливих загроз та можливостей розроблено SWOT- за яким можливо удосконалити та скорегувати свою стратегію конкурентної поведінки та стратегії розвитку проекту.

9) Використовуючи SWOT-аналіз розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для входу стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації. Знайдені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 2.13).

Таблиця 2.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Динамічна (Освоєння нових ринків, зростання масштабів виробництва розроблення та впровадження інновацій, розвиток потенціалу для реалізації стратегічних цілей розвитку)	Збільшення постачальників, удосконалення ресурсів, найм високоосвіченого робочого персоналу	14 місяців
2.	Нестійкий (Раціоналізація асортименту продукції, утримання частки ринку, лідерство в ніші)	Поступове удосконалення ресурсів	1 рік
3.	Стабільний (Утримання конкурентного положення, утримання ринкової ніші, зростання частки ринку з нарощенням виробництва, акумуляція прибутку)	Замовлення деталей у перевірних постачальників, високоосвічений робочий персонал	6 місяців

Обрано стабільну альтернативу ринкової поведінки. Вона є більш безпечною, оскільки вона має найменші строки реалізації, до того ж є можливість триматися конкурентної позиції та поступово прибавляти прибуток та нарощувати виробництво.

2.4.Розроблення ринкової стратегії проекту

1) Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає швидке обрання стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 2.14).

Таблиця 2.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Заводи	середня	високий	низька	просто
2	Наукові інститути	висока	високий	середня	просто
3	Навчальні інститути	середня	низький	високий	середня
Які цільові групи обрано: наукові інститути та заводи					

Як головну групу споживачів обрано наукові інститути та заводи так, як у даних сегментах низька інтенсивність конкуренції та у даний сегмент легше ввійти.

У обраному сегменті існують великі перспективи розвитку та можливість удосконалення автоматизації системи.

2) Для початку роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 2.15).

Таблиця 2.15.Визначення базової стратегії розвитку

№ п / п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія Розвитку *
1 .	стабільна	стратегія зазвичай тісно пов'язана з можливістю досягнення ефекту масштабу і досвіду (стабільно, без ризиків добиватися поставлених цілей).	фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у разі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів; низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників.	Стратегія лі-дерства по витратам.

Для проекту обрано стабільну альтернативу розвитку, оскільки у ході конкурентного протистояння з використанням цієї стратегії з ринку вимушені будуть піти фірми, менш ефективні з точки зору величини і структури витрат, нездібні до проведення технологічних новацій, спрямованих на зниження витрат.

3) Вибрано стратегію конкурентної поведінки (табл. 2.16).

Таблиця 2.16.Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

1	2	3	4	5
№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки*

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПІ8117.000.000 ПЗ

Арк.

Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	5
1	Проект, не є першопрохідцем, проте він не поширений у використанні у нашій країні	Компанія буде забирати споживачів у існуючих конкурентів, а також прибавляти нових.	Компанія, випускає товари-імітатори, займаючи ринкову частку, яку з різних причин не можуть охопити фірми лідери, обумовлена перевагою локалізації, краще знання національного ринку, налагоджені зв'язки з клієнтами.	Стратегія наслідування лідеру

Для початкового входження на ринок було обрано стратегію наслідування лідера, так, як це дозволяє зменшити конкурентну боротьбу та зосередити свій бізнес на отримання прибутків.

4) На підґрунті вимог споживачів з вибраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку створено стратегію позиціонування (табл.2.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 2.17.Визначення стратегії позиціонування

1	2	3	4	5
№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4	5
1	Якісний мате- ріал за низькою ціною	Позиці юванн я за співвід ношен ням "ціна – якість	Якісна поверхня і так як продукт виходить на український ринок, ціна на них буде на багато менша чим на європейські системи ,які займають основний ринок	"європейська якість за українськими цінами", "відмінне дослідження при малих затратах”

Було обрано стратегію позиціонування, вона буде орієнтована на відносно низьку ціну продукту, порівняно з усіма конкурентами, за аналогічною якістю.

2.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

1) Для того, щоб сформувати та застосувати маркетингову концепцію товару, який матиме споживач, потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл. 2.18).

Таблиця 2.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

1	2	3	4
№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4
1	Якісний контроль матеріалів	Автоматизоване керування процесом, що допомагає зрозуміти конкретну суть проблеми	Орієнтованість маркетингової стратегії на якість продукції
2	Універсальність автоматизованої системи	Використання у багатьох галузях	Висококваліфіковані фахівці, які працюють над вдосконаленням системи
3	Малобюджетне дослідження	Низькі ціни	Нижча ціна ніж у міжнародних конкурентів

Головними вигодами, які пропонує товар є автоматизоване дослідження, що допомагає зрозуміти конкретну суть проблеми, використання у багатьох галузях та низькі ціни.

2) Створена трирівнева маркетингова модель продукту виробництва: уточнено ідею продукту, його фізичні складові (табл. 2.19).

Таблиця 2.19. Опис трьох рівнів моделі товару

1	2		
Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики		Н/кг/мм
	• Максимальне навантаження	500 Н	
	• Робочі навантаження		0 – 250 Н
	• Висота системи	120 мм	0,5

Продовження таблиці 2.19

1	2		
	• Ширина системи	10 мм	220±22
	• Довжина системи	150 мм	
	• Маса системи	2 кг	
	Якість: Вимоги до вібрації. ГОСТ 26568-85, методи випробування по ДСТУ 22261-94 і ДСТУ 12997-84		
	Пакування: упаковка з нанесенням спеціального дизайну. На упаковці міститься така інформація (маркування): <ul style="list-style-type: none">• Загальна назва продукту, власна назва;• Умови зберігання;• позначення ДСТУ 4503:2005;• найменування та адреса виробника і місце виготовлення;• товарний знак;• штриховий код згідно з ДСТУ 3147.		
III. Товар із підкріплення м	Інформацію щодо якості продукту споживач може отримати з інформаційних сайтів, реклами та відгуків тощо.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за допомогою ліцензії, патентів на винахід та сертифікатів.			

За допомогою знаходження основних характеристик системи було знайдено основні вимоги по ДСТУ до продукції, вимоги до пакування та визначено, що за допомогою патентів та ліцензії він буде захищений від копіювання.

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

3)Подальшими діями є визначення витрат що необхідні для запуску стартапу, наведено у табл.2.20.

Таблиця 2.20. Витрати для запуску стартапу

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
1	Розробка проектних матеріалів	5
2	Робоче проектування і прив'язка проекту	1
3	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	32
4	Витрати на приймально-здавальні випробування	10
5	Витрати на придбання нематеріальних активів	15
6	Оплата юридичних послуг	13
7	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	26
8	Витрати, пов'язані з формуванням команди	9
Разом		111

4)Далі є необхідним визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, наведено у табл.2.21.

Таблиця 2.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на то- вар/послугу
	1000	4350	Високий рівень доходів	1500-10000 грн

Визначення цінових меж продукту показало, що даний стартап-проект виграє в ціні на відміну від цін на товари аналоги, а прибуток цільових груп споживачів є достатньо високими, щоб економно закупляти даний товар.

5) Наступний крок це визначення оптимальної системи збуту, в межах яких обираються рішення функції збуту, глибини каналу та оптимальну систему збуту. (табл. 2.22).

Таблиця 2.22.Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Клієнт ознайомлюється з характеристикою товару, присутній на експериментальних дослідженнях, швидке замовлення, отримання гарантії та сертифікатів, підписання договору.	-Швидке транспортування; - Сорткування; - Інформування.	Внутрішня служба збуту, що допомагає економити на транспортуванні	Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників(власна або залучена система збуту).

Було сформовано специфіку системи закупівельної поведінки, глибину каналу та оптимальну систему збуту, функції збуту.

5) Створено концепції маркетингових комунікацій, що опирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 2.23).

Таблиця 2.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Ознайомлення з характеристикою товару на сайті, можливість самому клієнтові оцінити ефективність системи, побачивши на власні очі, отримання гарантії та сертифікатів, підписання договору.	Ефективність контакту (відгуки), можливість оцінити ефективність системи	Позиціонування за співвідношенням "ціна-якість"	Донести систему, як сучасний, автоматизований продукт міжнародної якості за низьких цінах.	"європейська якість за українськими цінами", "відмінне дослідження при малих затратах"

Створено ринкову (маркетингову) програму, що несе в себе концепції товару, просування, збуту та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища.

					МД.ПІ8117.000.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

Висновки до розділу

Було розроблено стартап-проект “ Система захисту тензодатчика”. Сформовано ідею стартап-проекту, її використання та застосування.

Проведений аналіз ринку та ситуації, що склалася на ньому, надав можливість виявити головні тенденції подальшого розвитку галузі, змін споживчих переваг, основні напрямки подальшої діяльності на ринку. З великим розвитком сучасних технологій і створенні новітніх матеріалів, система захисту тензодатчиків дозволить збільшити їх використання в новітніх виробках.

Було доведено, що проект має значний попит на ринку, а саме серед наукових інститутів, у заводів приладобудівної, машинобудівної галузі. Оскільки ціна продукту низька на відміну від іноземних конкурентів, які в основному виробляють аналогічні вироби, проект має значну конкурентоспроможну позицію. Було виявлено можливості та загрози ринку, сильні та слабкі сторони підприємства, конкурентні позиції на національному та міжнародному ринку.

Обрано для впровадження стабільну альтернативу ринкової поведінки. Вона є найбезпечнішою, так як вона має найменші терміни реалізації при чому є можливість триматися конкурентної позиції та поступово прибавляти прибуток та нарощувати виробництво.

Загальний висновок

В результаті виконання даної магістерської роботи було розроблено розривну машину що має більш точні показники вимірювання, швидкодію і зручність використання порівняно із базовою комплектацією розривної машини РМ-30-1.

Добавлена можливість зв'язку розривної машини із комп'ютером.

Згідно з результатами розрахунків та даним що представлені в довідниках та в технічних характеристиках компонентів системи можна стверджувати, що система матиме високе значення точності.

Для збереження тензорезистору від руйнування розроблена і сконструйована система захисту що працюватиме в пасивному режимі і не потребуватиме ні електроенергії ні постійної діагностики та контролю. Для даної системи захисту були проведені моделювання в середовищі solidworks simulation що продемонстрували життєздатність та ефективність такого захисту.

В плані подальшої реалізації стартап-проект має значний шанс бути втіленим у життя і принести прибуток. Попит проекту на ринку буде вузькоспеціалізованим, а саме серед наукових інститутів, у заводів приладобудівної, машинобудівної галузі. Оскільки ціна товару низька на відміну від іноземних конкурентів, які в основному виробляють аналогічні вироби, проект має значну конкурентоспроможну позицію. Було виявлено можливості та загрози ринку, сильні та слабкі сторони підприємства, конкурентні позиції на національному та міжнародному ринку.

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

Перелік посилань

1. Машина розривна [Електронний ресурс]-«СтандартМ» Режим доступу: <http://standart-m.com.ua/ispytatelnoe-oborudovanie/razryvnye-mashiny/razryvnaya-mashina-r-05> - вільний доступ
2. Машина розривна [Електронний ресурс]-«Трігла» Режим доступу: www.trigla.com.ua/portfolio-view/машина-разрывная-мр-т/-вільний доступ
3. Машина разрывная РМ-30-1: Техническое описание и инструкция по эксплуатации Г62.773.070 ТО/ Андреев. Розрывные машины. 3-д «Красный Октябрь». – Андреев, 1997. – 21 с.
4. Промышленная группа сенсор [Електронний ресурс]-«Сенсор» Режим доступу: <http://www.sensor.dp.ua/?catalog&dep=512> – вільний доступ
5. Модуль счетчика импульсов [Електронний ресурс]-«ИнСат» Режим доступу: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=15768> – вільний доступ
6. Весоизмерительный индикатор [Електронний ресурс]-«Восток» Режим доступу: https://www.vostok.dp.ua/catalog/accessory/scale_out/product.html?id=1476 – вільний доступ
7. Годзиковский В.А. Упругие элементы, тензорезисторных датчиков силы / В.А. Годзиковский // Серия ТС-7. – М.: ЦНИИЕЭИ приборостроение, 1964.-С. 27-38.
8. Маликов Г.Ф. Расчет упругих тензометрических элементов / Г.Ф. Маликов // – Л.: Машиностроение, 1984.-С. 35-52.
9. Румбешта В.О. Технологія складання, регулювання та випробовування приладів / В.О. Румбешта // - Київ: НТУУ «КПІ», 2013.-С. 12-21.
10. Типи тензодатчиків [Електронний ресурс]-«Уніпро» Режим доступу: <https://unipro.com.ua/ua/typy-tenzodatchykyiv--sfera-zastosuvannya-tenzodatchykyiv/> - вільний доступ
11. Пучкин Б.И. Приклеиваемые тензодатчики сопротивления / Б.И. Пучкин // Библиотека по автоматике М.-Л.: Энергия, 1966.С — 88

					<i>МД.ПІ8117.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

